

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Nasazení DVB/IP Streameru do optických přístupových sítí**  
**DVB/IP Streamer Deployment in to the Optical Access**  
**Networks**

**2014**

**Jakub Boček**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Boček**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Nasazení DVB/IP Streameru do optických přístupových sítí  
DVB/IP Streamer Deployment in to the Optical Access Networks**

### Zásady pro vypracování:

IPTV představuje televizní a rozhlasové vysílání a také video na přání (VoD) poskytované přes vysokorychlostní datové sítě. Pro koncového uživatele IPTV služba vypadá a funguje jako standardní televizní vysílání. Z pohledu poskytovatele IPTV služba představuje zpracování a bezpečné poskytování video obsahu prostřednictvím datových sítí založených na IP protokolu. IPTV je definována jako multimediální služba realizovaná na datové síti založené na IP protokolu s poskytovanou úrovní kvality služeb (QoS) a prožitku (QoE), dále také bezpečností, interaktivitou a spolehlivostí. Absolventská práce se zabývá problematikou nasazení DVB/IP Streameru do optických přístupových sítí.

1. Popište problematiku IPTV a RF-TV.
2. Proveďte nasazení technologie umožňující DVB/IP stream prostřednictvím optické přístupové sítě GEAPON.
3. Proveďte nasazení IPTV prostřednictvím VLC servetu prostřednictvím optické přístupové sítě GEAPON.
4. Porovnejte výhody a nevýhody obou variant nasazení IPTV do optických přístupových sítí. Porovnání proveďte i z hlediska subjektivní metody hodnocení kvality IPTV.

### Seznam doporučené odborné literatury:

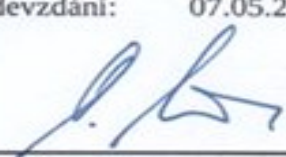
LAM, Cedric F. *Passive optical networks: principles and practice*. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, xlv, 324 p. ISBN 01-237-3853-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

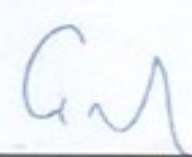
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 5. května 2014

.....*Boh.*.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Petru Koudelkovi za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se věnuje možnostem nasazení IPTV do optických přístupových sítí GEPON. V první části práce se zabývá teoretickým rozbořem problematiky IPTV a RF-TV v optických přístupových sítích. Ve druhé části se specializuje na zprovoznění DVB/IP Streameru a jeho následné distribuce TV signálu do topologie GEPON sítě. Ve třetí části se věnuje nasazení IPTV prostřednictvím VLC serveru, který je tvořen softwarem VLC player, který je nainstalován na serverovém PC. V poslední části se je pozornost věnována hodnocení výstupních videí, kdy se pomocí subjektivní metody hodnotí jejich kvalita. Hodnocení probíhalo za pomoci síťového emulátoru Simena, kde se měnili jednotlivé parametry.

## **Klíčová slova**

Pasivní optická síť; GEPON; IPTV; RFoG; RF video overlay; DVB/IP streamer; VLC; Subjektivní metoda.

## **Abstract**

This bachelor work deals with the possibilities of IPTV deployment in optical access networks GEAPON. The first part deals with the theoretical analysis of the issue of IPTV and RF-TV in optical access networks. In the second part specializes in launching DVB / IP Streamer and its subsequent distribution of TV signals to GEAPON network topology. The third part is devoted to the deployment of IPTV via VLC server, which consists of software VLC Player, which is installed on the server PC. The last part is the attention paid to the evaluation of the output video when using subjective methods of evaluating quality. The evaluation was conducted using a network emulator Simena, where the parameters have changed.

## **Key words**

Passive optical network; GEAPON; IPTV; RFoG; RF video overlay; DVB/IP streamer; VLC; Subjective method;

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line
<b>BER</b>	Bit error rate
<b>CATV</b>	Cable Television
<b>CD</b>	Compact disc
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol
<b>DSCQS</b>	Double Stimulus Continual Quality Scale
<b>DSIS</b>	Double Stimulus Impairment Scale
<b>DVB</b>	Digital video broadcasting
<b>DVB-C</b>	Digital video broadcasting-Cable
<b>DVB-H</b>	Digital video broadcasting-Handhelds
<b>DVB-MC</b>	Digital video broadcasting-Microwave Cable
<b>DVB-MHP</b>	Digital video broadcasting-Multimedia Home Platform
<b>DVB-MS</b>	Digital video broadcasting-Microwave Satellite
<b>DVB-MT</b>	Digital video broadcasting-Microwave Terrestrial
<b>DVB-S</b>	Digital video broadcasting-Satellite
<b>DVB-SH</b>	Digital video broadcasting-Satellite and Handhelds
<b>DVB-T</b>	Digital video broadcasting-Terrestrial
<b>DVD</b>	Digital video disc
<b>EP2P</b>	Ethernet Point-To-Point
<b>EPG</b>	Electronic program guide
<b>EPON</b>	Ethernet Passive Optical Network
<b>ES</b>	Elementary Stream
<b>FTTx</b>	Fiber To The x
<b>GEPON</b>	Gigabit Ethernet Passive Optical Network
<b>GPON</b>	Gigabit Passive Optical Network
<b>HE</b>	Head-End
<b>HFC</b>	Hybrid fibre-coaxial

---

<b>IGMP</b>	Internet Group Management Protocol
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IPTV</b>	Internet Protocol Television
<b>MOS</b>	Mean Opinion Score
<b>MOS-A</b>	Mean Opinion Score-Audio
<b>MOS-AV</b>	Mean Opinion Score-Audio/Video
<b>MOS-V</b>	Mean Opinion Score-Video
<b>MPEG</b>	Moving Picture Experts Group
<b>MPEG-TS</b>	Moving Picture Experts Group-transport stream
<b>NGA</b>	Next-generation access
<b>ODN</b>	Optical Distribution Network
<b>OLT</b>	Optical line termination
<b>ONT</b>	Optical Network Terminal
<b>ONU</b>	Optical Network Unit
<b>PES</b>	Packetized elementary stream
<b>PIM</b>	Protocol Independent Multicast
<b>PPV</b>	Pay-Per-View
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RF overlay</b>	Radio frequency video overlay
<b>RFog</b>	Radio frequency over glass
<b>RF-TV</b>	Radio frequency-Television
<b>RTCP</b>	Real-time Transport Protocol Control Protocol
<b>RTP</b>	Real-time Transport Protocol
<b>SDSCE</b>	Simultaneous Double Stimulus Continuous Evaluation
<b>SS</b>	Single Stimulus
<b>SSCQE</b>	Single Stimulus Continual Quality Evaluation
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TS</b>	Transport Stream
<b>TV</b>	Television
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol

---



---

<b>VC-1</b>	Video Codec-1
<b>VCR</b>	Video Cassette Recorder
<b>VoD</b>	Video on Demand
<b>WAN</b>	Wide Area Network
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing

---

# Obsah

Úvod.....	13
1 IPTV a RF-TV.....	14
1.1 RF-TV .....	14
1.2 RFoG (Radio Frequency over Glass).....	15
1.2.1 Typy sítí RFoG.....	16
1.3 RF video overlay .....	17
2 IPTV.....	19
2.1 Architektura IPTV.....	20
2.1.1 Head-End část.....	20
2.1.2 Část Core Network .....	21
2.1.3 Access network.....	21
2.1.4 Local Office.....	21
2.1.5 Home .....	22
2.2 Komunikace typu unicast a multicast.....	22
2.2.1 Unicast.....	23
2.2.2 Multicast.....	23
2.3 Protokoly a kodeky v IPTV.....	24
2.3.1 IP (Internet Protocol).....	26
2.3.2 Protokol IGMP (Internet Group Management Protocol).....	26
2.3.3 Protokol PIM (Protocol Independent Multicast) .....	27
2.3.4 Protokol TCP (Transmission Control Protocol) .....	28
2.3.5 Protokol UDP (User Datagram Protocol).....	28
2.3.6 Protokol RTP (Real-time Transport Protocol) .....	28
2.3.7 Protokol RTCP (RTP Control Protocol).....	28
2.3.8 MPEG-TS (MPEG-Transport Stream) .....	28
2.3.9 MPEG-2 (Moving Picture Experts Group).....	29
2.3.10 MPEG-4 (Moving Picture Experts Group).....	29
2.3.11 VC-1 (Video Codec-1) .....	30
2.4 Nejznámější služby poskytované v IPTV .....	30

2.4.1	EPG (Electronic Programming Guide).....	30
2.4.2	PPV (Pay Per View).....	30
2.4.3	VoD (Video on Demand) .....	30
2.4.4	VCR (Video Cassette Recorder) .....	30
3	Konfigurace OLT GEPON.....	32
3.1	Topologie GEPON .....	32
3.2	Konfigurace OLT .....	33
4	Nasazení DVB/IP streamu do optických přístupových sítí.....	37
4.1	Podrobný popis streameru.....	37
4.1.1	Označení.....	37
4.1.2	Použitý operační systém.....	37
4.1.3	Hardware .....	37
4.2	Zapojení streameru a konfigurace DHCP .....	37
4.2.1	Konfigurace DHCP serveru.....	38
4.3	Konfigurace systému DVB/IP.....	39
4.3.1	Konfigurace IP adresy na eth0 .....	39
4.3.2	Nastavení hodnot kmitočtů pro DVB-T .....	40
4.3.3	Konfigurace multicastových adres TV kanály .....	42
4.3.4	Ověření funkčnosti nastavení DVB/IP Streameru.....	43
4.3.5	Shrnutí všech důležitých skriptů a souborů.....	43
4.4	Konfigurace na straně účastníka.....	44
4.4.1	Nastavení programu VLC.....	44
5	Streamování videa pomocí VLC serveru .....	47
5.1	VLC player.....	47
5.2	Topologie pro streamování videa prostřednictvím VLC serveru .....	47
5.3	Konfigurace VLC serveru .....	48
5.3.1	Postup konfigurace pro unicast je popsán těmito kroky:.....	48
5.3.2	Postup konfigurace pro multicast je popsán těmito kroky: .....	50
5.4	Konfigurace na straně VLC klient.....	52
5.4.1	Komunikace typu unicast .....	52
5.4.2	Komunikace typu multicast.....	53

6	Hodnocení kvality .....	54
6.1	Kvalita služeb QoS.....	54
6.1.1	Ztrátovost paketů (Packet Loss) .....	54
6.1.2	Propustnost (Bandwidth).....	54
6.1.3	Změna pořadí paketů (Packet Order) .....	54
6.1.4	Celkové zpoždění (Latency).....	54
6.1.5	Zpoždění (Delay).....	54
6.1.6	Kolísání zpoždění (Jitter) .....	54
6.2	Subjektivní metoda hodnocení .....	55
6.2.1	DSIS (Double Stimulus Impairment Scale) .....	56
6.2.2	DSCQS (Double Stimulus Continual Quality Scale) .....	56
6.2.3	SS (Single Stimulus) .....	56
6.2.4	SSCQE (Single Stimulus Continual Quality Evaluation).....	57
6.2.5	SDSCE (Simultaneous Double Stimulus Continuous Evaluation).....	57
7	Porovnání metod nasazení IPTV .....	58
7.1	Výhody a nevýhody DVB/IP streameru.....	58
7.2	Výhody a nevýhody VLC serveru.....	58
7.3	Hodnocení kvality z hlediska subjektivní metody.....	59
7.3.1	Propustnost u DVB/IP streameru při formátu videa MPEG-2 .....	59
7.3.2	Ztrátovost u DVB/IP streameru při formátu videa MPEG-2.....	60
7.3.3	Chybovost u DVB/IP streameru při formátu videa MPEG-2.....	60
7.3.4	Propustnost u VLC serveru při formátu videa MPEG-2 .....	61
7.3.5	Ztrátovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-2.....	62
7.3.6	Chybovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-2.....	62
7.3.7	Propustnost u VLC serveru při formátu videa MPEG-4 .....	63
7.3.8	Ztrátovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-4.....	63
7.3.9	Chybovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-4.....	64
7.4	Zhodnocení tabulkou.....	64
	Závěr .....	66
	Použitá literatura .....	67
	Seznam příloh.....	69

## Úvod

V minulých letech docházelo k digitalizaci televizního vysílání a tato digitalizace se rozvinula do takové úrovně, že dnes si můžeme dovolit sledovat televizi přes IP protokol. Tato možnost sledování televize se nazývá IPTV. Tento způsob vysílání využívá pro přenos vysokorychlostní přípojky a to buď pomocí přípojky optické nebo ADSL. Tato technologie se stává velmi oblíbenou a to především díky lepší dostupnosti přijímaného signálu než u klasického DVB-T nebo mnoho dalších podobných DVB technologií. Podmínkou však je vysokorychlostní připojení, které nám musí obstarat poskytovatel. Další nutnou součástí, bez které bychom nemohli přijímat IPTV je set-top-box a modem. IPTV se v současné době stává velmi oblíbenou službou a to hlavně díky jejím možnostem služeb, které může podat předplatiteli. Mezi významné služby patří například služba VoD (video na vyžádání), EPG (programový průvodce) nebo třeba VCR, což je video archiv.

Cílem této práce je nasadit IPTV prostřednictvím DVB/IP streameru a VLC serveru do optické přístupové sítě GEAPON. Po nasazení IPTV do této topologie je práce ukončena závěrečným hodnocením pomocí subjektivní metody.

# 1 IPTV a RF-TV

V současné době stav v Evropě z hlediska televizního vysílání můžeme charakterizovat tím, že provozovatelé televizí kladou nové požadavky na další vysílací kmitočty. Dnes však můžeme říct, že dochází k vyčerpání kmitočtového spektra pro nejvyužívanější televizní vysílání a to je analogovou televizi. Díky tomu, že kmitočtové spektra jsou pro analogové vysílání vyčerpány, není tedy možné zavádět další celoplošné televize a naplnit tak požadavky televizí na nové kmitočty. Uživatelé u koncového zařízení (televize) si žádají větší množství programů a jejich nároky na kvalitu zvuku a obrazu se stále zvyšují. Tyto problémy, které jsme si výše popsali, zaručeně řeší digitální vysílání, které má mnoho forem a jednou z těch nejznámějších je např. DVB-T (pozemské vysílání) nebo také DVB/IP neboli televize přes internetový protokol, která se v dnešní době stává stále populárnější formou televizního vysílání. Nový způsob vysílání však nese i vyšší finanční nároky a hlavním důvodem je nekompatibilita se současným analogovým vysíláním. Z tohoto důvodu musí být na straně diváka doplněn televizor o přijímač set-top box.

Příchod vysokorychlostního rezidenčního přístupu k internetu vytvoří alternativní způsob dodání služeb pro video. Tam, kde existuje dostatečná šířka pásma, tam je IPTV schopna dodávat mnohem bohatší sadu služeb, anebo lze využít buď CATV nebo over-the-air distribuci. IPTV využívá digitální technologii sbližování paketů TV / rádio s údaji eliminující nutnost vytvořit samostatnou žádost, jako je zvláštní síť pro každého. IPTV je schopna dodávat tradiční "vysílání" one-to-many, která dnes existuje. IPTV využívá také podporu videa na vyžádání služeb (Video-on-Demand) nebo VCR (Video Cassette Recorder) které nám umožňují video ze záznamu a tyto služby jsou obrovskou výhodou oproti klasické analogové televizi.

## 1.1 RF-TV

Pod pojmem RF-TV si můžeme představit zastaralou a dnes už prakticky nevyužívanou analogovou televizi. Analogová televize je způsob zpracování a přenosu obrazové a zvukové informace o snímání scéně. Snímaný obraz z kamery se převádí řádek po řádku v jednotlivých snímcích na elektrické signály. Tyto signály jsou informace o dané barvě, jas a především popisuje obraz objektu, který je rozložený na tři základní barvy RGB, tedy červenou, zelenou a modrou. Elektrické signály se mění podle barvy a velikosti snímaného detailu nepřetržitě spojitým sledem v amplitudě a kmitočtu – tedy analogově. Tyto obrazové signály jsou doplněny synchronizačními impulzy, které slouží k tomu, aby byl obrázek objektu zpětně sestaven na obrazovce televizoru. Zvuk, který je doprovázen obrazem vytváří samostatná elektrický signál, který je rovněž analogový [1]. Přenos obrazu a zvuku se přenáší k divákovi a jeho televizoru pomocí vysokofrekvenčních vln prostřednictvím vysílačů. Jelikož se tedy jedná o analogový přenos, lze tedy pomocí vysílače a vysokofrekvenčních vln přenášet pouze jeden program, tedy jeden signál obrazový (obraz) a jeden doprovodný signál zvukový (audio).

Normy, které se využívají při televizním vysílání, používají prokládání. Prokládání se používá pro snímání obrazu a jeho následné přenášení ob jeden řádek. To znamená, že je

každou sekundu přeneseno 50 půl snímků, což znamená, že obraz se rozsvítí a zhasne 50 krát za sekundu, ale bude přeneseno jen 25 úplných snímků. Prokládání má za cíl vylepšit kvalitu obrazu při zachování potřebné šířky pásma. Existují určité normy, které používají různé způsoby vysílání půl snímku. Při použití normy NTSC se jako první vysílají sudé půl snímky a následně liché. Další normou je PAL, která vysílá nejprve liché půl snímky a poté sudé.

## 1.2 RFoG (Radio Frequency over Glass)

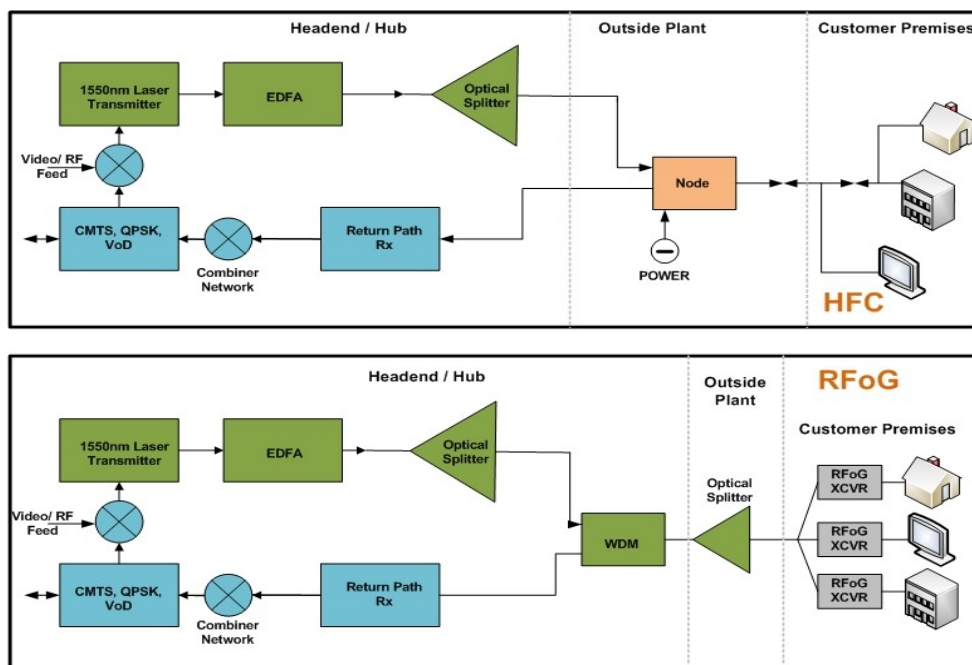
Technologie RFoG jak už z názvu vypovídá, bude pracovat s optickým vláknem. Jedná se tedy o jeden z druhů optické přístupové architektury, konkrétně tedy PON/FTTH. Technologie RFoG umožňuje jednoduchou integraci s technikou, která se používá v kabelových sítích HFC. RFoG může postupem času a s jejím vývojem přecházet na architektury typu GPON a GEPON.

RFoG technologie umožňuje použití PON sítě, která je založena na jednom optickém vlákně. Vlnové délky, které jsou použity ve směru od účastníka, jsou 1310 nm nebo 1490 nm a k účastníkovi to je 1550 nm. Velmi dobrou vlastností technologie RFoG je její schopnost být kompatibilní s existujícími sítěmi RF/DOCSIS/HFC.

**Sítě RFoG pracují se stejnými:**

- Systémy OSS/BSS.
- Hlavními stanicemi.
- Kabelových modemech CPE-Set-Tops.

Díky možnosti současného provozu RFoG a HFC se stejnou hlavní stanicí, může být RFoG výborným řešením pro rozšiřování možností sítě.

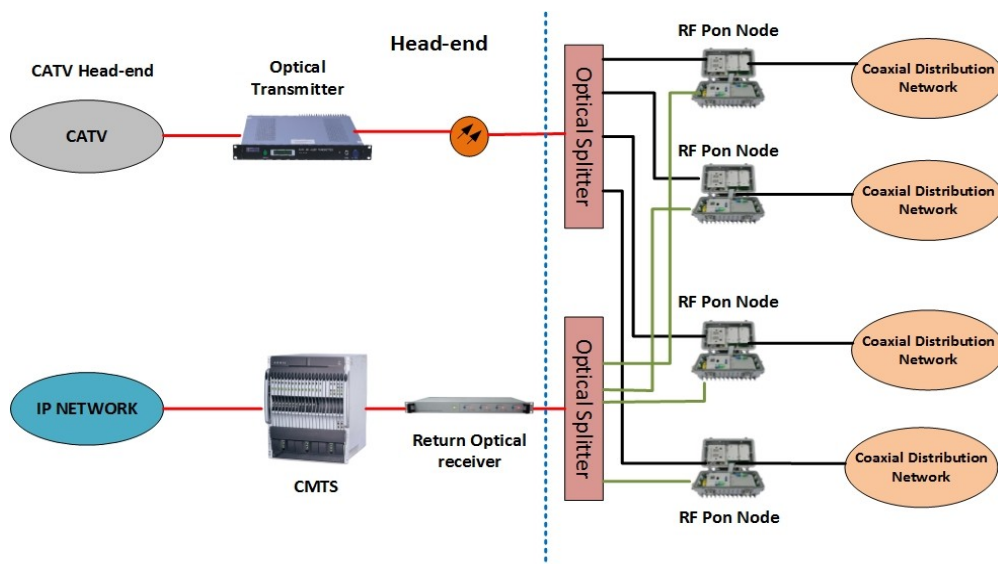


Obrázek 1.1: RFoG a HFC síť[2].

### 1.2.1 Typy sítí RFoG

#### Sít' bez uzlu:

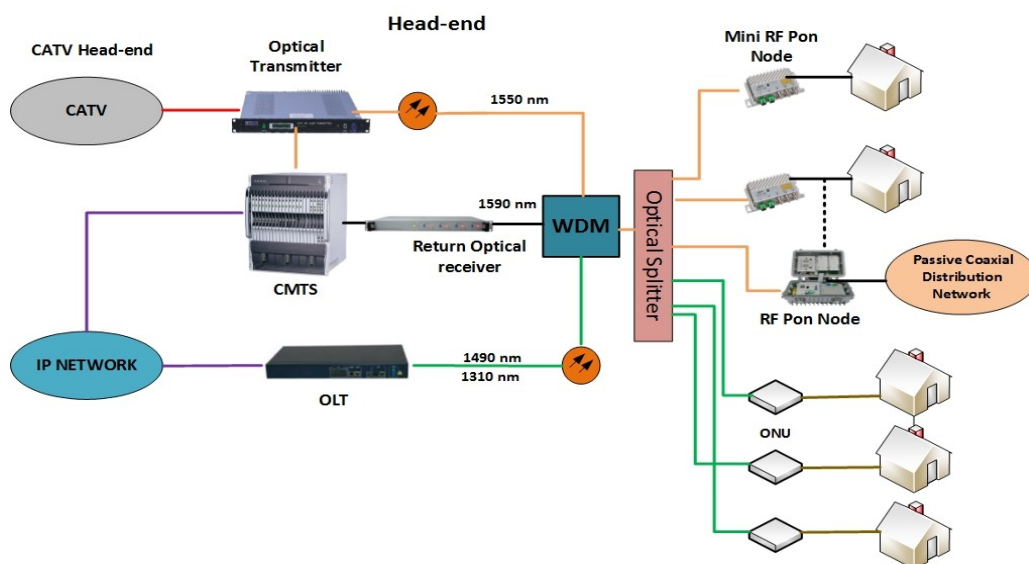
Dosah tohoto typu sítě je až 20 km od HE a využívá datový přenos přímo z WDM (Wavelength-division multiplexing). Je schopna vést jedno vlákno pro 32 koncových uživatelů.



Obrázek 1.2: Sít' bez uzlu[3].

#### Sít' s doplňkovým uzlem:

Dosah této sítě je až 40 km od HE, kdy je schopna vést jedno vlákno až pro 32 koncových uživatelů a pro 256 koncových uživatelů, kteří jsou obsluhováni z optického uzlu zasílaného jedním vláknem z HE.



Obrázek 1.3: Sít' s doplňkovým uzlem[3].



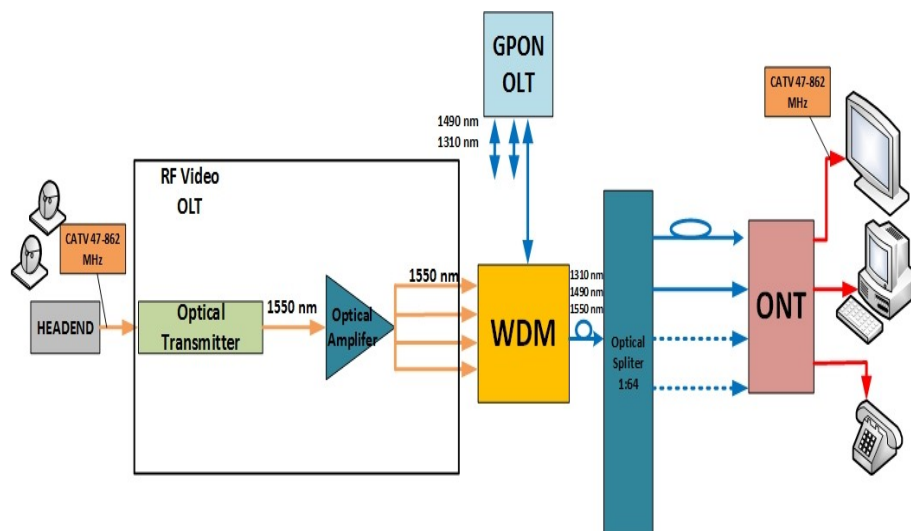
### 1.3 RF video overlay

Radio frequency video overlay je technologie, která slouží pro přenos videa a umožňuje mnoho výhod pro provozovatele a zákazníky. Přenos probíhá na pasivních optických sítích. Celkově má technologie RF video overlay obrovský potenciál pro nasazení do NGA (sítě nové generace).

Díky nízkému útlumu na optickém vláknu, lze poskytnout pasivní venkovní infrastrukturu bez nutnosti elektrického napájení a chlazení a díky tomu ve velké míře snižuje údržbu a provozní náklady. V pasivních optických sítích jsou dnes nejvíce využívány tyto přenosové protokoly:

- GEAPON (vlnové délky 1490 nm downlink a 1310 nm uplink)
- GPON (vlnové délky 1490 nm downlink a 1310 nm uplink)
- EP2N (v mnoha případech umožňují použití stejné vlnové délky)

Vlnové okno, které se nachází v 1550 – 1560 nm je určeno především pro RF video Overlay. V Evropě je nejvíce využívaným přenosovým protokolem varianta EP2P a zbylé dvě varianty GPON a GEAPON jsou používány převážně v Asii a Americe. Varianty GPON a GEAPON jsou typu P2MP (point-to-multipoint) a varianta EP2P je typu P2P (point-to-point). Přístup P2P vyžaduje velký počet optických propojení v centru office systému (Central Office), avšak výhodou tohoto přístupu je, že každému uživateli poskytuje trvale plnou přenosovou kapacitu. U variant GPON a GEAPON to však snižují optické rozbočovače, které snižují počet vláken potřebných v Central Office. Varianty GEAPON a EP2P mají společné to, že jejich přenosové vybavení obstarává Ethernetové rozhraní, které je umístěno na vstupu a výstupu. V optických komunikacích je koncové rozhraní ONT a vstupní OLT. Díky využití ethernetového rozhraní jsou tak ideální pro IP datové přenosy (VOIP, data nebo IPTV) [4].



Obrázek 1.4: RF video overlay ve variantě GPON[4].

Obrázek 1.4 znázorňuje Head-end zařízení, které je nasazeno do GPON varianty s RF overlay. Popis průběhu je následující: Vstupní video signál, který je typu CATV vstoupí na RF

Video OLT a GPON OLT a následně je zkombinovaný s WDM technologií, ještě předtím než se dostane na optický dělič. Z děliče signál putuje do ONT, který má v sobě obsažen optický přijímač pro RF video [4].

V hybridních sítích tvoří vysílání videa a jeho přenos více než 90%. Zřejmý důvod, proč používat video overlay systém na vrcholu IP přenosového systému je oddělení broadcast provozu od IP přenosů a využití dostupné kapacity IP přenosové soustavy pouze pro skutečné unicast služby, jako je například telefonování, internet a video na vyžádání. Velikou výhodou technologie video overlay je, že znatelně redukuje požadavky na výkon a kapacita IP páteřní sítě. Video služby jsou v reálném čase takové služby, které mají velmi vysoké požadavky na latenci sítě a obvykle vyžadují vysokou kvalitu úrovní služeb a vynikající buffering IP paketů celé sítě, aby se zabránilo poruchám příjmu, jako je zmrazení obrazu [4].

## 2 IPTV

Během několika posledních let se doba analogových televizí stává pomalu a jistě zastaralou technologií, která ustupuje a je nahrazována novou a lepší technologií. Novou technologií máme na mysli digitální vysílání neboli DVB (Digital Video Broadcasting). Tato technologie se objevuje ve více formách, které jsou uvedeny v tabulce 2.1. Nejrozšířenějším vysíláním jsou především DVB-T (pozemní), DVB-S (satelitní), DVB-C (kabelové). Ovšem další a pro tuto dobu se stále rozvíjející a populárnější technologií je sledování TV přes internetový protokol tedy IPTV (Internet Protocol Television). Celý přenos probíhá přes vysokorychlostní síť. Toto vysílání přes internetový protokol tedy znamená, že nutností pro používání IPTV je přístup k internetu. Připojení k internetu může mít více možností a to buď přes ADSL nebo přes optické síť.

Pro koncového uživatele, který si tento způsob vysílání zaplatil, tato služba představuje standardní televizní vysílání, které navíc obsahuje další služby jako je například VoD (video na přání) nebo VCR (video ze záznamu). Z pohledu poskytovatele IPTV služba představuje zpracování a bezpečné poskytování video obsahu prostřednictvím datových sítí založených na IP protokolu.

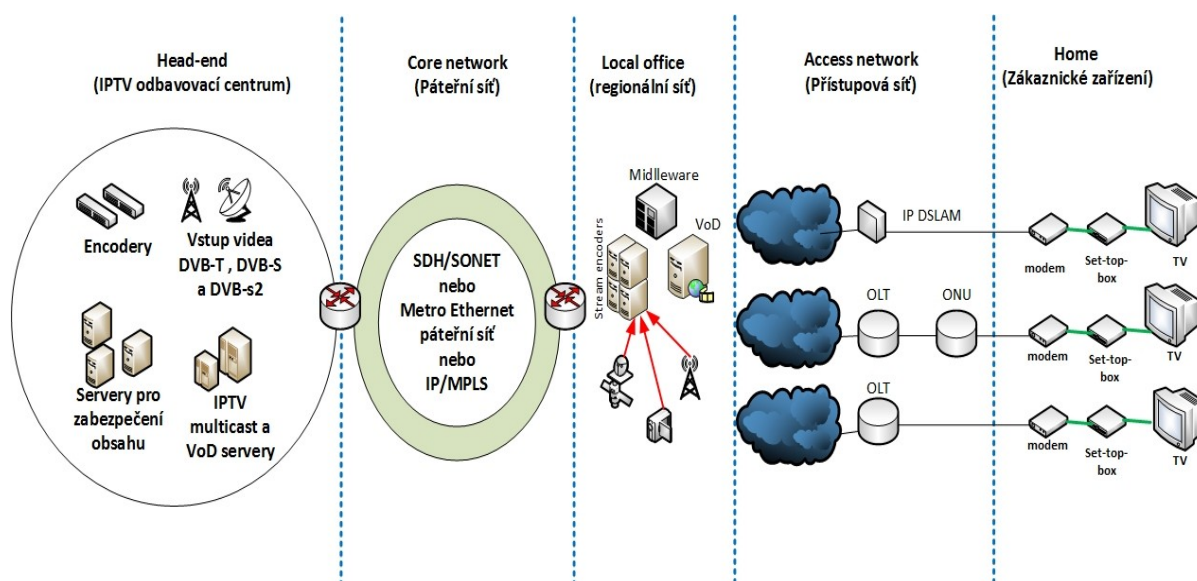
Tabulka 2.1: *Druhy DVB (Digital video broadcasting)[5].*

Druh signálu	DVB	Funkce
DVB-T	Terrestrial	Pozemní vysílání
DVB-T2	Terrestrial 2	Vylepšená verze pozemního vysílání
DVB-S	Satellite	Satelitní digitální vysílání
DVB-S2	Satellite 2	Vylepšené DVB-S, které je přizpůsobeno pro HD
IPTV	Internet protocol Television	Digitální televize přes internetový protokol
DVB-C	Cable	Kabelové digitální televizní vysílání
DVB-H	Handhelds	DVB pro příjem mobilních přístrojů
DVB-MHP	Multimedia Home Platform	Interaktivní aplikace v digitálních televizích
DVB-SH	Satellite and Handhelds	Kombinace satelitního vysílání a příjmu pro mobilní přístroje
DVB-MT	Microwave Terrestrial	Šířená dat pro pozemní vysílání pomocí mikrovln
DVB-MC	Microwave Cable	Šířená dat pro kabelové vysílání pomocí mikrovln
DVB-MS	Microwave Satellite	Šířená dat pro satelitní vysílání pomocí mikrovln

## 2.1 Architektura IPTV

Topologii televize přes internetový protokol si můžeme rozdělit do 5 částí. Tyto části jsou zobrazeny na obrázku 2.1 a nazývají se:

- Head-end (odbavovací pracoviště).
- Core networks (páteřní síť).
- Local Office (regionální odbavovací pracoviště).
- Access network (přístupová síť).
- Zákaznické zařízení – Home.



Obrázek 2.1: *Architektura IPTV[3]*

### 2.1.1 Head-End část

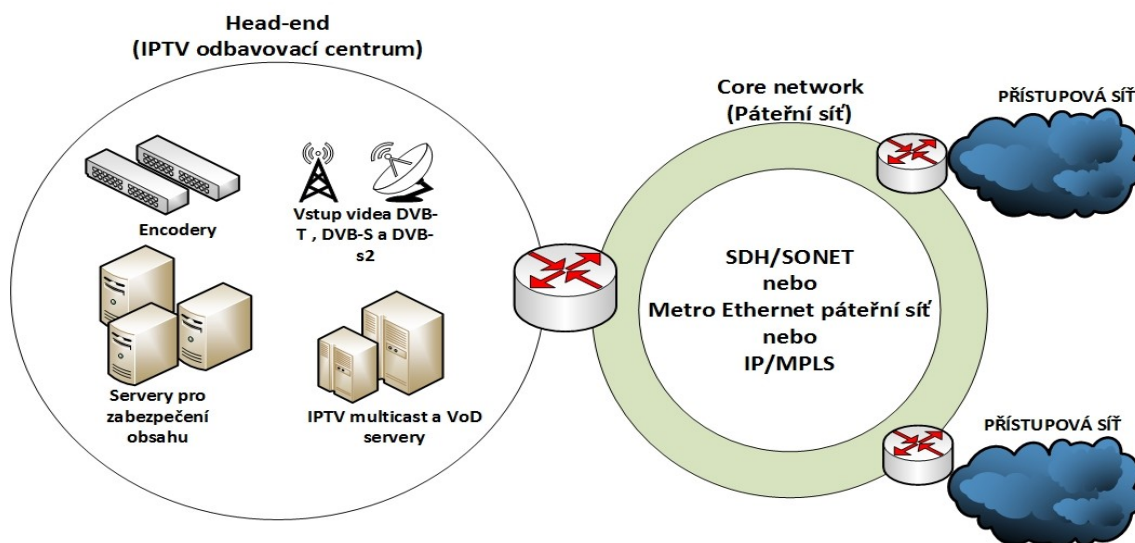
Tato část architektury by se dala v překladu nazvat jako odbavovací pracoviště. Celá tato část by se dala popsat jako skupinka zařízení, které se starají o příjem signálu a jeho následnou distribuci do sítě. Z části Head-end jsou do sítě providera posílány TV programy a rozhlasové stanice. TV programy a rozhlasové stanice jsou většinou přijímány buď analogově nebo digitálně. Digitální vysílání je rozděleno na pozemní DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), kabelové DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable) nebo DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) a rozhlasové služby DAB (Digital Audio Broadcasting). Pokud je přijímaným signálem signál analogový, musí být převeden do digitální formy a následně zkomprimován pomocí komprese (VC-1, MPEG-4/H.264, MPEG-2). Z Head-end pracoviště pokračuje přenos video signálů páteřní sítí (core network) poskytovatele. Tato část IPTV architektury zajišťuje především přenos datových toků do přístupové sítě.

### 2.1.2 Část Core Network

Již z názvu lze pochopit, že se jedná o páteřní síť poskytovatele Core network je většinou postavena na technologii IP/MPLS. Tato část sítě slouží především k přenosu většího množství datových toků velkou rychlostí a funguje převážně jako přenos mezi IPTV datovým centrem a různými typy přístupových sítí.

**Nejčastěji používané technologie v Core network:**

- ATM over SDH/SONET,
- IP/MPLS,
- Metro ethernet.



Obrázek 2.2: *Head-end, páteřní síť a přístupová síť[6].*

### 2.1.3 Access network

V překladač této části architektury znamená přístupová síť a má za úkol přenášet datové toky ke koncovým uživatelům. Zde hrají důležitou roli parametry kvality služby QoS, kdy můžeme např. upřednostnit přenos videosignálu a zabránit zpoždění nebo fragmentování (rozdělení).

**Přístupové datové sítě:**

- xDSL,
- optical fiber (FTTx),
- Wireless network.

### 2.1.4 Local Office

Český název této části je regionální odbavovací pracoviště. Povinností této části architektury je přidávání regionálního obsahu do vysílání. Pod pojmem regionální obsah se myslí např. místní rozhlas nebo televizní program. (V Ostravě to může být např. Televize Polar

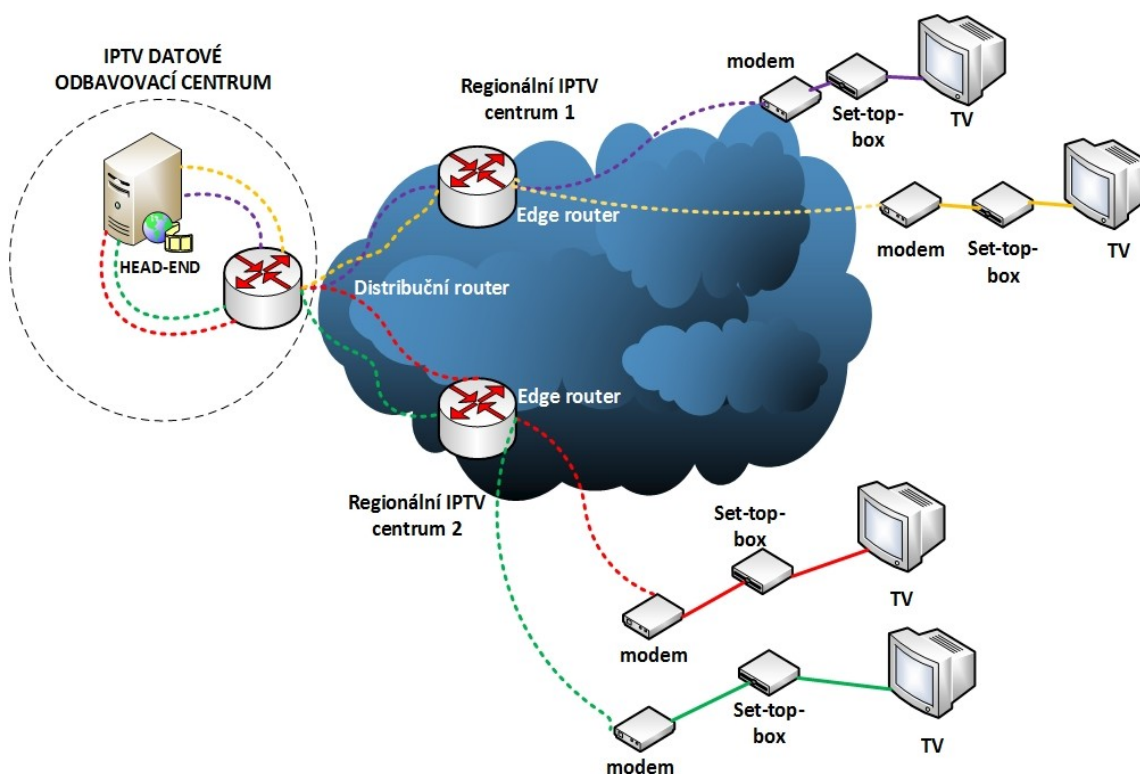
nebo rádio čas). Local office dále obsahuje televizní úložiště (archiv) nebo nahrané videa na přání tzv. VoD servery.

### 2.1.5 Home

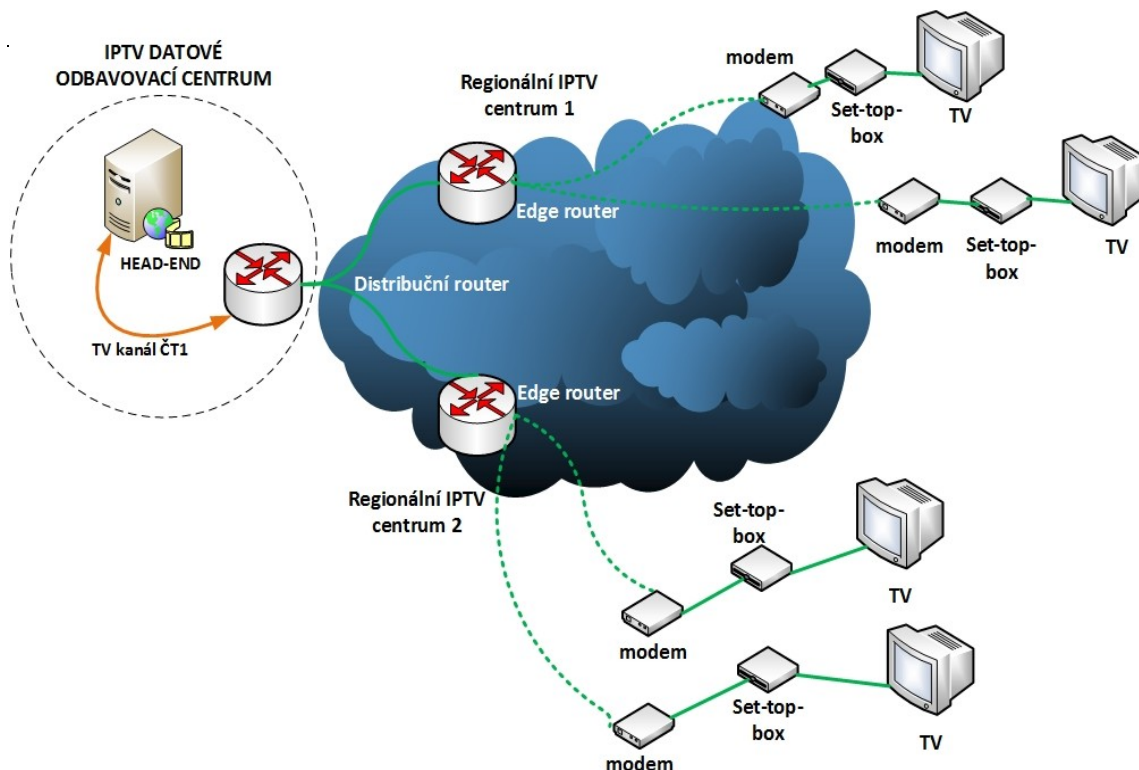
Konec architektury IPTV je tvořen zákaznickými prostory (Home), ve kterých se nacházejí zákaznické zařízení. Pod zákaznickými zařízeními si můžeme představit například Set-Top-Box nebo ONU jednotky. Zákaznické zařízení mají za úkol ukončit jednotlivé datové toky a následně tyto toky převádí na signály, které následně zobrazují televizory.

## 2.2 Komunikace typu unicast a multicast

Komunikace v IPTV probíhá převážně skupinovým vysíláním tedy Multicastem. Vysílání může být realizováno i typem Unicast, avšak tato metoda se vesměs vůbec nepoužívá, protože by tak docházelo k přetížení serveru. Unicast se využívá pouze pro některé typy služeb, které IPTV nabízí a to např. VoD. Tzn., že pro daného koncového uživatele, který si vybral z některého filmu nebo pořadu, provedeno vysílání pouze na jeho IP adresu.



Obrázek 2.3: Princip komunikace typu unicast[7].



Obrázek 2.4: *Princip komunikace typu multicast [7].*

### 2.2.1 Unicast

V minulosti byly sítě typu IP směřovány především pro komunikaci s typem unicast. Princip typu unicast spočívá v komunikaci mezi dvěma stanicemi, kdy jedna je zdroj vysílání a druhá je příjemce. Pokud by tedy přibyla další stanice, která by byla jako příjemce, tak by musel být vytvořen nový paket pro tuto stanici. Což znamená, že zdroj musí vysílat data tolikrát, kolik je v dané síti příjemců tzn., pokud jsou na Obr. 2.3 čtyři příjemci, budou data 4x vyslána. V IPTV se však s tímto typem komunikace nesetkáme, protože by bylo nutné pro každého zákazníka vytvořit samostatné spojení. To je však vzhledem k velkému počtu účastníků nemožné. Řešením tohoto problému je komunikace typu multicast, která je popsána níže. Komunikace Unicast se v IPTV používá především pro interaktivní služby jako je např. služba VoD, které fungují z druhé strany, tedy ze strany zákazníka k vysílacímu serveru. Při použití příliš mnoha unicastových přenosů dochází k zahlcení sítě. Přenos filmu v komunikaci unicast obsadí cca 2,2 Mbps pásmo.

### 2.2.2 Multicast

Komunikace typu multicast poskytuje mnohem lepší možnost komunikace z pohledu úspory síťových prostředků pro tyto dva případy:

- více zdrojů a více příjemců,
- jeden zdroj a více příjemců.



Multicast neboli skupinové vysílání umožňuje vysílat zdroji data pouze jednou a to takovým způsobem, že kopie vyslaných dat jsou doručeny všem příjemcům. Tyto kopie vyslaných dat jsou vytvářeny jen v routerech (směrovačích), které se nacházejí v největší blízkosti u daného příjemce a tím se šetří přenosové prostředky sítě. Princip multicast se liší od broadcast tím, že se jedná především o skupinové vysílání, které je distribuováno pouze vybrané skupině účastníků. Každou skupinu si v IPTV můžeme představit, jako skupinu jednoho programu např. Televize Nova bude skupina 1 a televize Prima bude skupina 2. Takže účastník, který bude sledovat televizi Nova, se bude nacházet v multicastové skupině 1. Pokud však bude chtít sledovat televizi Prima, tak se přepne do multicastové skupiny 2. Což vlastně způsobí odhlášení ze skupiny 1 a přihlášení do skupiny 2. Celý princip je jednoduše zobrazen na obrázku č. 2.4. Multicastové skupiny mají rozsah IP adres od 224.0.0.0 do 239.255.255.255.

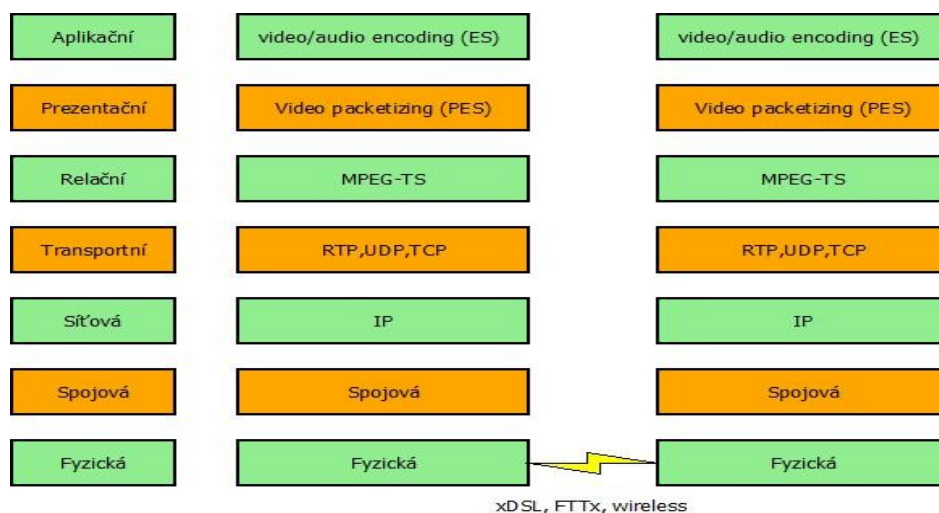
### IPTV se rozděluje tímto způsobem do multicastových skupin:

Rozhodujícím faktorem pro multicastové skupiny je buď IP adresa, nebo port.

- **PORT:** jedná se o několik videí, které jsou reprezentovány jednou multicastovou adresou a každé video, které se nachází v této skupině (Multiplexu) nese unikátní rozlišení a to je právě port. Odlišení videa pomocí portu se moc nepoužívá, protože dochází k vysokému zatížení přístupové sítě.
- **Multicastová adresa:** video které je vysíláno do sítě nese svou multicastovou adresu a svůj port. Adresa videa může vypadat takto: 224.1.1.1:9001. Pokud si koncový uživatel vybere tuto adresu, bude sledovat pouze toto video.

## 2.3 Protokoly a kodeky v IPTV

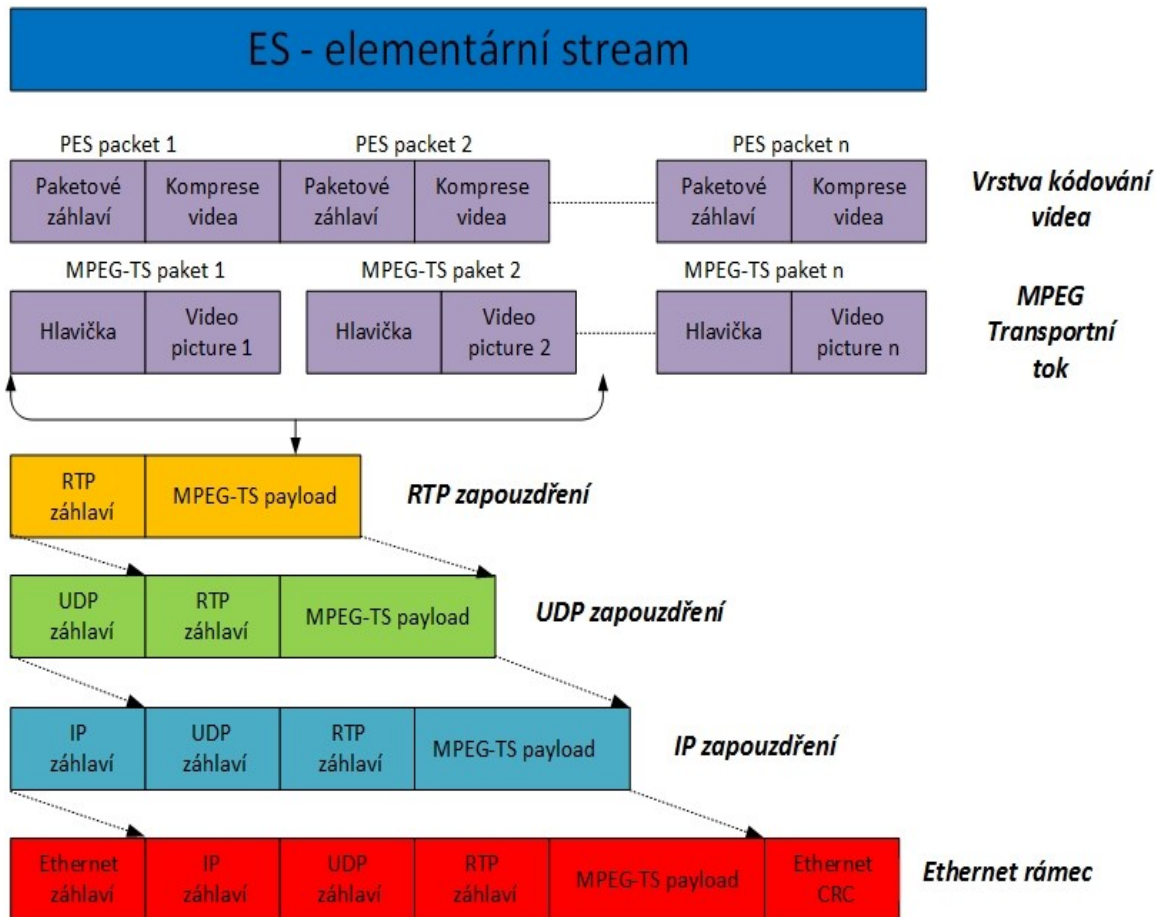
Protokoly a modely vychází z modelu IPTV, který je založen na referenčním modelu ISO/OSI. Tak jako OSI model je tvořen 7 vrstvami a každá vrstva má svůj úkol. Pokud jedna z vrstev splní svou povinnost, pošle multimediální data do vrstvy, která následuje.



Obrázek 2.5: Porovnání ISO/OSI modelu a modelu IPTV [6].



Z obrázku 2.5 lze vidět, že IPTV model obsahuje 3 vrstvy, které jsou reprezentovány vrstvami 7 až 5 a pracují s aplikacemi a formáty videa. Zbývající 4 vrstvy se starají o zapouzdření video signálu a k jeho přenosu mezi zdrojem (video serverem) a koncovými uživateli. Operace, které jsou využívány v IPTV jsou zobrazeny na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6: Zapouzdření[3].

TV programy a rozhlasové stanice jsou většinou přijímány analogového vysílání nebo z digitálního. Digitální vysílání je buď pozemní DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), kabelové DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable) nebo DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite) a rozhlasové služby DAB (Digital Audio Broadcasting). Pokud je přijímaným signálem signál analogový, musí být převeden do digitální formy a následně zkomprimován pomocí komprese (VC-1, MPEG-4/H.264, MPEG-2). Při získání digitálního signálu je signál buď zachován v defaultním kodeku anebo je komprimován do jiného. Touto operací se vytvoří datový tok, který je tvořen malými bloky PES. Tyto bloky jsou tvořeny datovým záhlavím bloku a snímkem a jsou dále vloženy do přenosového datového toku MPEG-TS.

### 2.3.1 IP (Internet Protocol)

Jedná se o základní protokol, který pracuje na síťové vrstvě. IP protokol poskytuje diagramovou službu protokolům, které jsou součástí TCP/IP. V dnešní době se využívají dvě verze a to starší verze IPv4 a novější IPv6[8].

### 2.3.2 Protokol IGMP (Internet Group Management Protocol)

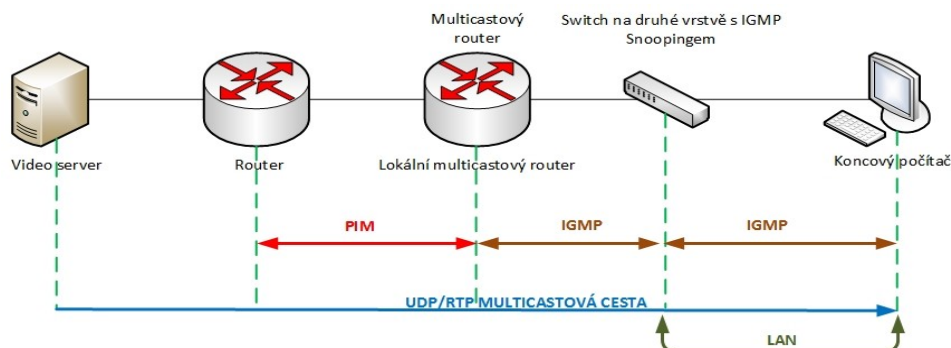
Tento protokol rozšiřuje požadavky na implementaci protokolu IP o podporu IP multicast. Dále umožňuje Set-Top-Boxům se přihlásit do určité multicastové skupiny a díky tomu přijímat určitý multicastový tok. Používá základní příkazy pro přihlášení a odhlášení do skupiny. Pro přihlášení do skupiny se jedná o příkaz „Membership report“ s IP adresou třídy a „Leave group“, který slouží pro opuštění skupiny.

**Protokol IGMP je v IPTV využíván v těchto verzích:**

- **IGMPv1:** Obsahuje 64 bitů, kdy prvních 0-7 bitů slouží pro dotazy, 8-15 bitů je nevyužito, dalších 16 bitů slouží pro kontrolní součet a zbylých 32 bitů obsahují adresu skupiny.
- **IGMPv2:** Struktura IGMPv2 je podobná té z verze 1, ale navíc jeho 8-15 bity obsahují maximální čas na odpověď.
- **IGMPv3:** Třetí verze protokolu IGMP má už pozměněnou strukturu. První 8 bitové pole obsahuje typ dotazu, dále jedno 8 bitové a jedno 16 bitové rezervované pole je při vysílání nastaveno na nulu a při přijímání je ignorováno. Na 16 bitech je uveden počet záznamů, kterých může být, až n. Struktura záznamů skupin obsahuje spolu s různými informacemi i adresu skupiny [10].

#### IGMP snooping

Jedná se o ochranný/optimalizační mechanismus pro *L2 switche*. Standardně se multicast na switche šíří jako broadcast, tedy na všechny porty mimo příchozího. **IGMP snooping** zajišťuje zkoumání multicast provozu a detekci join a leave zpráv. Podle toho se učí, na kterém portu se nachází router a kde klienti, a sestavuje tabulku, podle které přeposílá multicast pouze na ty porty, kde klient tento provoz požaduje. Také odpovědi klientů odesílá pouze na router a ne ostatním klientům. Dynamicky tedy konfiguruje porty pro příjem multicast [9].



Obrázek 2.7: Struktura pro multicastové služby [11].

### 2.3.3 Protokol PIM (Protocol Independent Multicast)

Tento protokol patří do rodiny multicastových směrovacích protokolů pro IP (Internet Protocol) sítě, které poskytují one-to-many a many-to-many distribuci dat přes LAN, WAN nebo Internet. Protokol se nazývá „independent“, protože PIM neobsahuje vlastní zjišťovací mechanismy, ale místo toho používá směrovací informace dodávané jinými směrovacími protokoly.

**Vyskytuje se v pěti variantách variantách:**

- **PIM Řídký režim (PIM-SM)**

Tato varianta se nachází v sítích, kde není tak velké množství zákazníků, kteří mají zájem o multicast. Proto posílá zprávy typu multicast jen těm routerům, kteří si o to žádají.

Používá jednosměrné sdílené stromy s kořenem v RP a může vytvářet stromy nejkratších cest pro zdroje, vyžaduje na síti Rendezvous Point (RP). Zdroje posílají multicast přímo připojeným routerům (DR), DR (router s nejvyšší IP) je zabalí a jako unicast pošle na RP, ten je posílá členům multicast skupiny. RP oznamuje zdroje a vytváří cestu od zdroje ke členům skupiny, teprve potom posílá multicast diagramy [9].

- **PIM Hustý režim (PIM-DM)**

Tato varianta se nachází v sítích, kde je větší množství zákazníků, kteří si žádají multicastový provoz. Takže provoz je odesílán do všech směrovačů a směrovač, který nechce přijímat provoz, tak to musí oznámit.

Vytváří strom nejkratších cest, používá flood and prune metodu (nejprve zaplaví doménu multicastem a pak ořezává větve, kde nejsou příjemci). Interfacy se přidávají do multicast routovací tabulky na routeru. Špatně škálovatelný, je ideální pro LAN, kde jsou členové hustě (densely) umístěni v síti [9].

- **PIM-SDM**

Pokud neobsahuje RP (Rendezvous Point), tak se chová jako PIM hustý režim (PIM-DM), pokud obsahuje RP tak se chová jako PIM řídký režim (PIM-SM).

- **Obousměrný PIM**

Vytváří obousměrné sdílené stromy, ale nikdy ne strom nejkratších cest, takže může mít delší end-end vzdálenost, ale dobře škáluje [9].

- **PIM Zdrojově-specifický Multicast (PIM-SSM)**

Vytváří stromy, které mají kořen pouze v jednom zdroji. Adresa vysílače je známá a příjemci se registrují přímo ke zdroji vysílání [9].

### 2.3.4 Protokol TCP (Transmission Control Protocol)

TCP protokol je hlavní protokol transportní vrstvy. Jedná se o spojově orientovaný protokol, tzn., na začátku přenosu se vytvoří oboustranné spojení mezi komunikujícími stranami, které zaručuje spolehlivé doručení segmentů ve správném pořadí. Pro zajištění spolehlivosti přenosu obsahuje hlavička segmentu TCP celkem 20 bytů. TCP používají aplikace jako webové prohlížeče, email, aplikace pro přenos souborů atd.

### 2.3.5 Protokol UDP (User Datagram Protocol)

Protokol UDP je používán v aplikacích, které nevyžadují spolehlivý přenos a zároveň jim nevadí, že některá část dat se poškodí, ztratí nebo přijde v odlišném pořadí. Tyto aplikace dále nevyžadují automatické opětovné odeslání poškozených nebo ztracených dat, ale v případě potřeby si o jejich doručení požádají samy. UDP se od TCP protokolu liší především tím, že se nezabývá kontrolou toku a nenavazuje přímé spojení mezi komunikujícími počítači. Odesílatel pouze odešle paket, ale už se nestará o to, zda byl paket doručen či nikoliv. Tento protokol se používá pro přenos hlasu pomocí VoIP, video streaming nebo DNS. Datové jednotky, které jsou vytvářené protokolem UDP, se nazývají diagramy [8].

### 2.3.6 Protokol RTP (Real-time Transport Protocol)

RTP protokol pracuje na transportní vrstvě a slouží především k podpoře koncových multimediálních přenosů v reálném čase. Protokol je navržen pro jednosměrné i vícesměrové skupinové přenosy, lze jej tedy využít pro videokonference, telefonii a push to talk systémy. Protokol podporuje přenos dat v reálném čase mezi dvěma i více účastníky. Pro jeho přenos se převážně používá UDP protokol. RTP umožňuje před samotným zahájením přenosu identifikovat typ dat, která budou přenášena, určit pořadí paketů v jakém budou data zasílána a synchronizovat datové toky z rozdílných zdrojů. Zatímco RTP neposkytuje žádný mechanismus k zajištění včasného doručení nebo k poskytnutí záruky jiné kvality služeb (QoS), jsou tyto mechanismy poskytovány kontrolním protokolem (RTCP), který umožňuje sledování kvality distribuce dat. RTCP také poskytuje kontrolní a identifikační mechanismus pro přenosy RTP. V IPTV se protokol RTP stará o přenos SSM multicast.

### 2.3.7 Protokol RTCP (RTP Control Protocol)

Protokol RTCP slouží pro přenos signalizace svázané s přenosem multimédií. Tento protokol také zpravidla pracuje nad protokolem UDP (protokol TCP je však také možný). Pro protokol RTCP jsou definovány dva typy zpráv a to zprávy nesoucí informace o zdroji dat (SR, Sender Report), které jsou přenášeny ve směru od zdroje k příjemci a další jsou zprávy nesoucí informace o příjemci dat (RR, Receiver Report), které jsou přenášeny ve směru od příjemce ke zdroji [8].

### 2.3.8 MPEG-TS (MPEG-Transport Stream)

Jedná se o transportní protokol, který je založen na standartu MPEG-2 part 1. Využívá se převážně tam, kde dochází ke ztrátovosti přenosu dat a to například (DVB vysílání nebo

streamování). MPEG-TS není kodek, ale je to digitální kontejner a obsahuje PES bloky. Protokol MPEG-TS umožňuje opravit chyby, ke kterým dochází při distribuci.

### 2.3.9 MPEG-2 (Moving Picture Experts Group)

Jedná se o kodek rodiny MPEG, který slouží ke snížení datového toku a tím i velikosti výsledného souboru u digitálně zpracovávaných videozáznamů při co nejmenším viditelném zhoršení kvality po dekomprimaci. MPEG-2 je standardním formátem užívaným pro ukládání a přenos videa na DVD, nebo při distribuci digitálního televizního signálu DVB-T. U aplikací, které vyžadují MPEG-2 komprimaci či dekomprimaci videa v reálném čase, jsou kladeny výrazně vyšší nároky na výpočetní kapacitu procesoru, než u formátu MPEG-1. Písmena MPEG zkracují název expertní skupiny Motion Pictures Experts Group, která počátkem 90. let 20. století pracovala na standardizaci komprimačních formátů. Současně obecně pojmenovávají celou skupinu komprimačních MPEG formátů. MPEG-2 byl představen v roce 1994. MPEG-2 se liší od formátu MPEG-1 tím, že dokáže pracovat s tzv. proměnlivým datovým tokem (VBR - variable bit rate). To v praxi znamená, že komprimační software rozpozná scénu, která obsahuje řadu za sebou jdoucích velmi podobných (statických) snímků, mezi kterými jsou jen velmi malé rozdíly - např. moderátor, který (z pohledu videostopy) „pouze“ otevírá ústa. V takovém případě sekvence obsahuje velmi málo klíčových snímků a relativně málo doplňkových informací k dopočtu výsledného obrazu. Opakem je např. záznam hokejového zápasu. Ve výsledku je pak průměrný datový tok (výsledný soubor) menší než při použití konstantního datového toku (CBR - constant bit rate) a současně kvalitnější, neboť u náročných scén se dočasně datový tok zvýší[12].

### 2.3.10 MPEG-4 (Moving Picture Experts Group)

MPEG-4 je kolekce patentovaných metod definujících kompresi a uložení zvukových a obrazových dat. Představena světu byla v roce 1998 a představovala skupinu standardů pro kódování audio, videa a na to navazujících technologií formálně vydaný ISO/IEC Moving Picture Experts Group jako standard ISO/IEC 14496. Využití MPEG-4 zahrnuje kompresi AV dat pro web (Streaming), uložení dat na CD a DVD, hlasovou a video komunikaci a digitální televizní vysílání. MPEG-4 využívá mnoho z existujících standardů MPEG-1, MPEG-2 a dalších. Dále přidává nové vlastnosti jako například možnost práce s trojrozměrnými objekty pomocí VRML, objektově orientované kompositní (obsahující audio, video a VRML objekty) soubory, podpora pro DRM specifikované třetí stranou a různými druhy interaktivity. Mnoho vlastností standardu MPEG-4 je definováno jako volitelné, tj. je necháno na vývojářích softwaru, zda je implementují či nikoliv. To znamená, že zde může existovat velké množství neúplných implementací standardu MPEG-4. Za účelem vyřešení tohoto problému je zaveden koncept „profilů“ a „úrovní“, určujících specifické skupiny částí standardu, které by měla aplikace implementovat, aby byly dobře použitelné pro nějaký konkrétní účel. MPEG-4 je standard, který se stále ještě vyvíjí, zvláště některé jeho části. Společnosti propagující kompatibilitu zařízení využívajících MPEG-4 často velmi nejasně specifikují k jaké „úrovní“ standardu se odkazují[13].

### 2.3.11 VC-1 (Video Codec-1)

Tento video kodek se může objevovat pod názvem SMPTE 421M, avšak známější VC-1, který byl původně vyvinut jako proprietární formát videa od společnosti Microsoft. VC-1 obsahuje kódovací nástroje pro prokládané video sekvencí, stejně jako progresivní kódování. Hlavním cílem VC-1 byla podpora komprese prokládaného obsahu bez předchozího převedení na progresivní, což je více atraktivní pro vysílání a profesionální video průmysl.

## 2.4 Nejznámější služby poskytované v IPTV

### 2.4.1 EPG (Electronic Programming Guide)

Tato služba se objevuje i u standardního digitálního vysílání. V IPTV funguje na stejném principu, tedy jako programový průvodce, který se zobrazuje přímo na obrazovce televizoru. Umožňuje nám prohlížet si TV program v daný den, právě vysílaný pořad a jeho detailnější informace atd. Mezi jeho přínosy je jeho multifunkčnost, která nám představuje možné vyhledávání programu nebo jejich filtrace. Můžeme jej také použít jako organizátora naší TV zábavy a to ve smyslu naplánování si TV pořadu, na který se chceme dívat nebo jeho nahrání[14].

### 2.4.2 PPV (Pay Per View)

Služba jako je Pay Per View (placené pořady) nám umožňuje sledování pořadů, které jsou za určitý poplatek shlédnutelné. Laicky tedy řečeno tak, že pokud bychom chtěli shlédnout nějaký program, který není volně šířitelný, musíme si za něj zaplatit. Mezi tyto služby patří například VoD (video na přání), které nám může poskytnout zhlédnutí pořadu ze záznamu, avšak služba PPV se používá zejména pro přímé přenosy, kdy si nemůžeme sami určit čas vysílání[15].

### 2.4.3 VoD (Video on Demand)

Služba Video on Demand v překladu znamená video na vyžádání a z překladu vyplývá, čím se služba bude zabývat. Tato služba je však částečně placená. Slovem částečně je myšleno, že pokud si chce divák nechat přehrávat nějaké reklamní nebo promo akce/reklamy nemusí za ně platit. Službu VoD si můžeme představit jako virtuální video půjčovnu, která nás však nehoní s datem vrácení nebo jinými podmínkami co se v klasické půjčovně používají. Jednoduše si z domova vybereme daný film nebo seriál či dokument a vytvoříme objednávku, ve které si sami zvolíme, kdy chceme daný film/seriál spustit. Objednaný film/seriál si budeme moci přehrát po dobu 24 hodin (i opakovaně), poté se přístup k němu uzavře.

### 2.4.4 VCR (Video Cassette Recorder)

Služba VCR funguje na principu video recorderu, který nám v minulosti i současnosti slouží k nahrávání pořadů, které v jejich vysílací dobu nejsme schopni sledovat. Pro nahrávání této služby existují dva způsoby. Buď má divák set-top-box s vestavěným HDD na který je schopen ukládat nahraná data anebo druhou možností je nahrát si vybraný titul na straně

poskytovatele – přehrávání tímto způsobem funguje podobně jako Video on demand. Poskytovatel může vytvářet video archiv, ze kterého si může zákazník přehrávat tituly bez toho, aby musel jako vytvářet objednávky jako je tomu u služby Vod.

### 3 Konfigurace OLT GEON

OLT zařízení je optické linkové zakončení, neboli koncový bod od poskytovatele služeb PON. Na pracovišti N311 se jedná o OLT značky Allied Telesis a je to model iMAP 9102. Tento model je zobrazen na obrázku 3.1 a podrobně popsán.



Obrázek 3.1: Pohled na OLT zepředu.

Označením A, B, C se myslím označení třech karet. A označuje kartu CFC12, B označuje kartu FX 20 BX a písmeno C označuje kartu EPON2.

#### **Karta CFC12 je tvořena těmito porty:**

- D – Jedná se o port, označovaný jako Console, který slouží pro připojení k PC přes UTP kabel s koncovkou RJ45. Toto připojení se vyskytuje na straně OLT, a na straně účastníka je připojení provedeno přes USB a RS232.
- E – Tento port slouží pro připojení k MGMT
- F – Port pro připojení přes FASTETHERNET
- G – Port pro připojení optického vlákna pro WAN rozhraní. Zapojení je realizováno přes SFP moduly.

#### **Karta FX 20 BX je tvořena těmito porty:**

- Tato karta obsahuje 20 portů, které jsou tvořeny pro optické konektory.

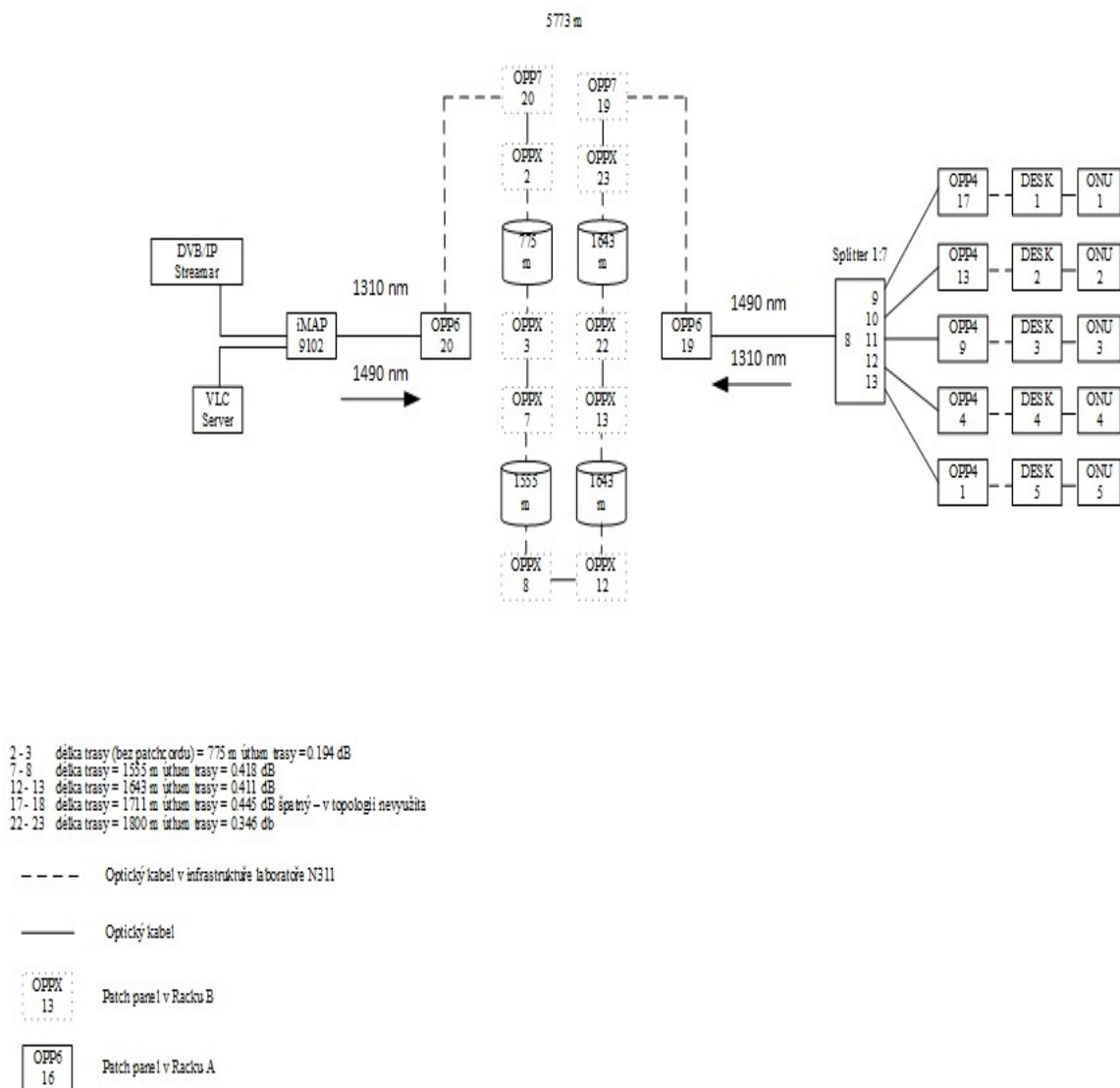
#### **Karta EPON2 je tvořena těmito moduly:**

- Karta obsahuje dva SFP moduly, které slouží pro propojení do optické pasivní sítě.

#### 3.1 Topologie GEON

Níže na obrázku 3.2 je zobrazena topologie celého zapojení pro IPTV i VLC server. Na obrázku 3.2 jsou dole v levém rohu podrobně zapsány jednotlivé útlumy, které se vyskytují na trase celé sítě GEON. Celá komunikace, která je v síti GEON je vyvedena přes optický dělič/splitter s poměrem 1:7. Tento splitter rozdělil signál do 5 koncových jednotek ONU. Celková délka trasy je 5 733 km, kdy jsou využity 4 špulky o délkách 773 m, 1643 m, 1555 m a 1643 m.

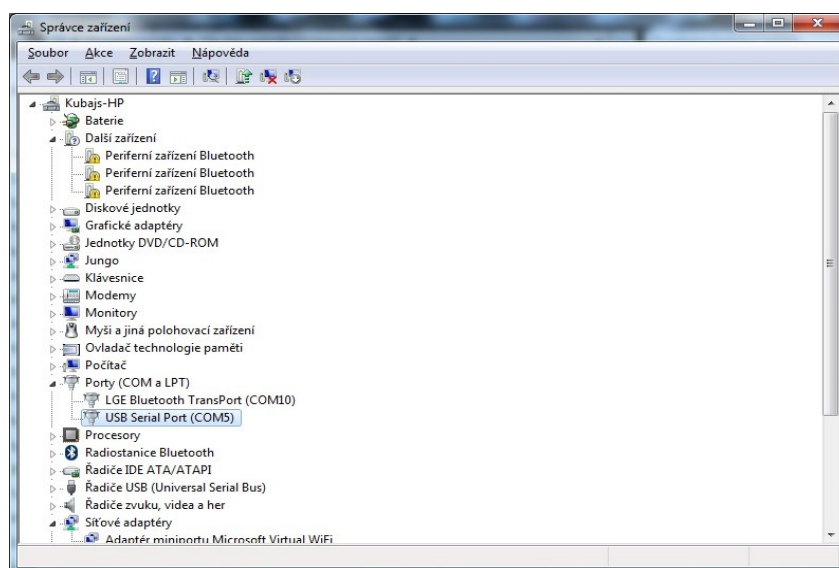




Obrázek 3.2: Topologie s GEAPON.

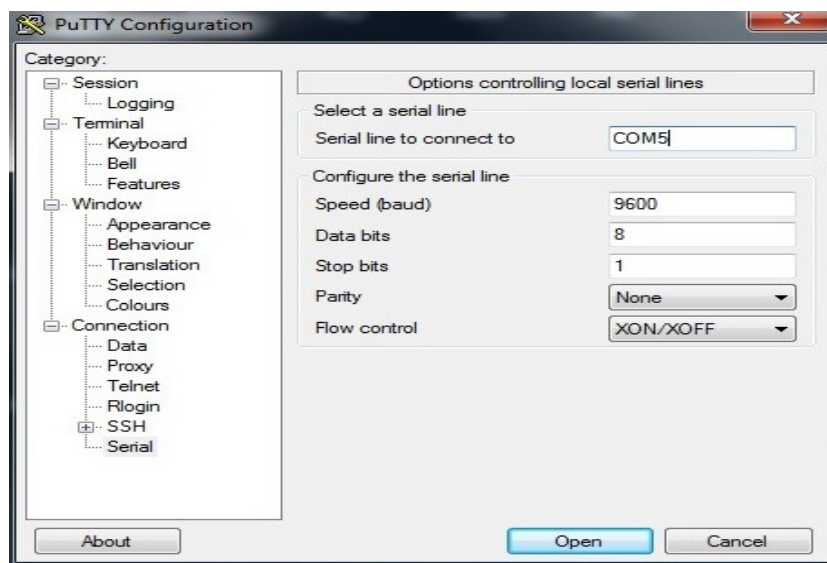
### 3.2 Konfigurace OLT

Pro konfiguraci OLT je v učebně n311 využit notebook a kabel, který má na každém konci jinou koncovku. Tedy konec, který se připojuje do OLT portu Console, má koncovku RJ45 a druhý konec je pomocí redukce RS-232 tvořen USB. Díky této redukce se dá snadno připojit k notebooku/počítači. Proto, aby byl snadný přístup k OLT rozhraní, je nutné použít vhodný software. Pro mou konfiguraci jsem využil freeware software PuTTY (Release 0.63). Pro použití tohoto softwaru je nutné mít již propojený notebook s OLT. Pokud tomu tak je, tak prvním krokem je zjistit na jakém portu se spojení nachází a to se zjistí tímto způsobem:



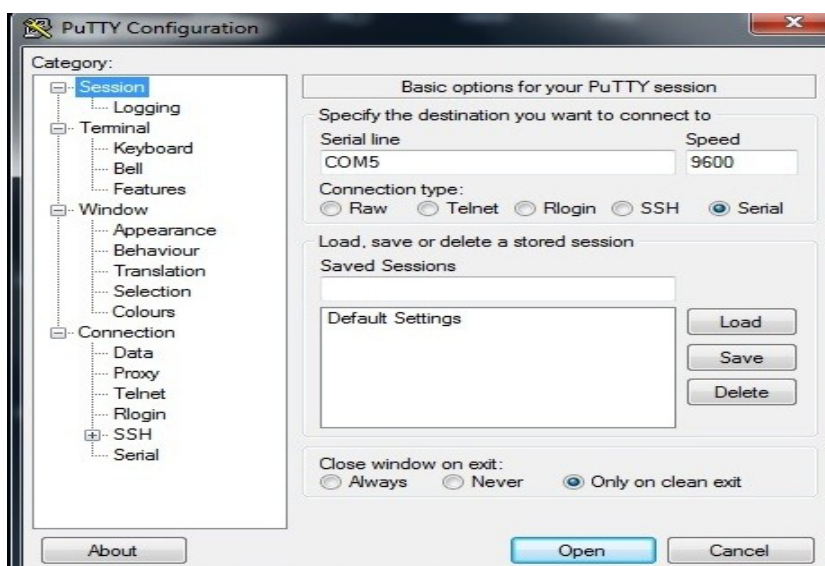
Obrázek 3.3: *Správce zařízení pro zjištění portu.*

Na obrázku 3.3 je vidět, jak lze zjistit port, na kterém se nachází připojení pro začátek komunikace s OLT systémem GE PON. Zjištění probíhá pomocí správce zařízení, který se nachází v ovládacích panelech.



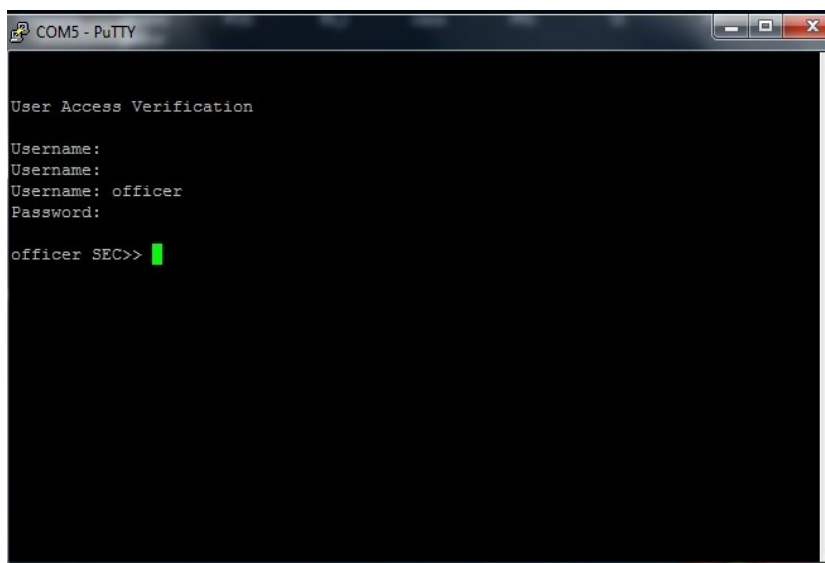
Obrázek 3.4: *Nastavení portu v záložce Seriál.*

Proto, aby se bylo možné připojit do OLT zařízení, je nutné nastavit sériový port v záložce Serial. V případě použitého notebooku to je port COM5, který byl zjištěn pomocí softwarové aplikace Správce zařízení, a jeho postup zjištění je podrobně popsán na obrázku 3.3. Dále se pokračuje krokem, který je zobrazen na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5: *Nastavení portu v záložce Session.*

Na obrázku 3.5 se nastavuje v rubrice Serial Line na port **COM5**, který byl nalezen ve správci zařízení. Dále se nastavuje Connection type a to na hodnotu **Serial**. Celá komunikace se spustí tlačítkem **Open**.



Obrázek 3.6: *Spuštění konfiguračního režimu.*

Při spuštění konfiguračního režimu se jako přihlašovací údaje používají:

Username: officer

Password: officer

Tímto způsobem jsme možní začít s konfigurací OLT. Dalším krokem pro konfiguraci je důležité si zjistit interfacý, které OLT nabízí.

Pro výpis interface, který zobrazí všechny dostupné rozhraní, se používá příkaz:

```
Show interface
```

V našem případě používáme optický port port 2.0.

Příkaz pro nastavení IP adresy pro interface GEAPON:

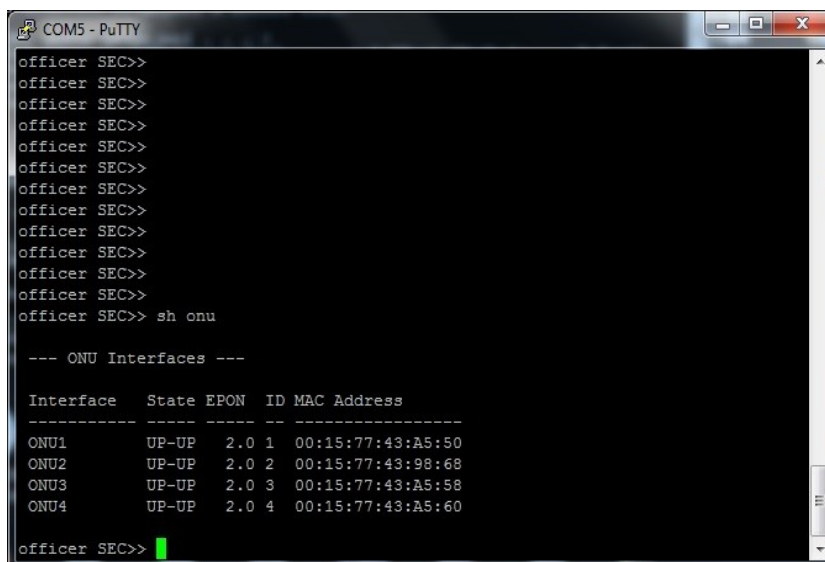
```
Set interface <rozhraní> ipaddress=<ip adresa>
```

Registrace ONU jednotek se provádí tímto příkazem:

```
create onu <jméno jednotky> onuid=<číslo jednotky ONU  
v rozsahu 0 - 31> interface= <číslo rozhraní GEAPON> mac= <MAC  
adresa jednotky>
```

Výpis všech ONU jednotek, se provede příkazem:

```
Show onu
```



```
COM5 - PuTTY
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>>
officer SEC>> sh onu

--- ONU Interfaces ---

Interface  State EPON  ID MAC Address
-----
ONU1       UP-UP   2.0  1  00:15:77:43:A5:50
ONU2       UP-UP   2.0  2  00:15:77:43:98:68
ONU3       UP-UP   2.0  3  00:15:77:43:A5:58
ONU4       UP-UP   2.0  4  00:15:77:43:A5:60
officer SEC>>
```

Obrázek 3.7: Výpis všech ONU jednotek.

Obrázek 3.7 zobrazuje výpis všech ONU jednotek a jejich stav. Pokud jsou v pořádku zaregistrované a fungují tak jak by měli, jejich stav je **UP-UP**.

## 4 Nasazení DVB/IP streamu do optických přístupových sítí

DVB/IP streamer má pro tuto práci velmi důležitou roli, jelikož z něj bude vycházet větší část měření. Tento streamer bylo nutné nakonfigurovat tak, aby byl schopen přijímat DVB-T signál a následně jej posílat pomocí GEAPON technologie do naší topologie. Celá konfigurace tohoto streameru probíhala pomocí předpřipravených skriptů, u kterých bylo nutné nastavit správné porty DVB-T karty a adresy jednotlivých kanálů. Pokud by se tak nestalo, streamer by nebyl schopen produkovat streamy. Podrobná specifikace DVB-T streameru je popsána níže.

### 4.1 Podrobný popis streameru

Pro lepší pochopení a porozumění, je níže podrobně popsána celá specifikace tohoto modelu:

#### 4.1.1 Označení

Jedná se o IP TV stream server ITS-DVB2,IP-S2T2M2 od firmy ASM.

#### 4.1.2 Použitý operační systém

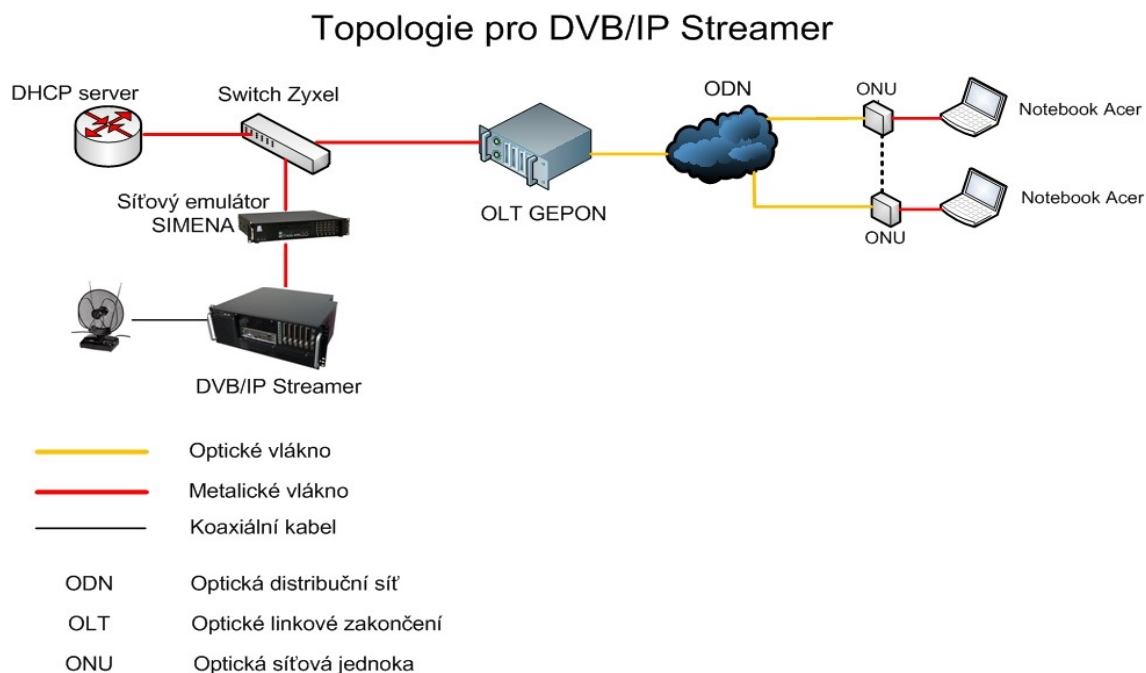
Na tomto modelu je nainstalovaný operační systém Linux s distribucí Debian 6.0.3. Díky využitému operačnímu systému je práce s ním spojená velmi svižná a vhodná pro distribuci TV streamů.

#### 4.1.3 Hardware

Tento streamer v sobě nese sestavu, která je poskládaná tak, aby byla schopna pracovat v České republice. Příjem je realizován pro příjem DVB-T a DVB-T2, ale také pro příjem satelitního vysílání DVB-S a DVB-S2. Všechny čtyři transpondéry je možno dekodovat pomocí CAM.

### 4.2 Zapojení streameru a konfigurace DHCP

Níže na obrázku 4.1 je zobrazena celá topologie, do které byl nasazen DVB/IP streamer. Na obrázku jsou v levém spodním rohu popsány typy použitých kabelů a podrobně popsány zkratky, které jsou v dané topologii použity.



Obrázek 4.1: Topologie s nasazeným DVB/IP.

Z obrázku 4.1 jde vidět, že je využita optická síť GEAPON. DVB/IP streamer je zapojen jako zdroj a je připojen metalickým kabelem z rozhraní Eth0 k síťovému emulátoru Simena (konkrétně do portu E1). Síťový emulátor Simena je v tomto schématu použit především z důvodu změny vysílaných parametrů, které se po změně projeví v obrazu u koncových zařízení. Síťový emulátor Simena je připojena (portem E2) do L3 switchu, který je následně připojen do TP-Link routeru. Tento router má v tomto zapojení vysokou prioritu a to především z jeho úkolu přidělování IP adres pomocí DHCP serveru. Zapojení pokračuje do OLT GEAPON na rozhraní 4.0. Z OLT portu 2.0 je přes distribuční síť, která má délku trasy 5 733 km, přivedeno optické vlákno na jednotlivé ONU jednotky. Z těchto ONU jednotek je vyveden klasický metalický kabel UTP do zařízení. V našem případě jsou koncové zařízení realizované notebooky značky ACER a jedním měřicím přístrojem AXS-625.

Důležitým faktorem pro příjem TV signálu je dostatečně silná anténa, která je připojena do DVB/IP streameru

#### 4.2.1 Konfigurace DHCP serveru

Pro rozhazování IP adres je nutné na tomto routeru nastavit DHCP. Takže ještě než se začne s konfigurací, musí se zadat do internetového prohlížeče tato IP adresa:

192.168.0.1

Po vyzvání k zadání uživatelského jména a hesla je nutné zvolit:

Uživatelské jméno: admin

Heslo: admin

Následně je vše přesměrováno na příslušné grafické rozhraní od příslušného routeru. V grafickém rozhraní je nutné se dostat do konfigurace DHCP. Pro naši síť jsme si zvolili masku 255.255.255.0 a adresní rozsah jsme si zvolili od 192.168.0.2 – 192.168.0.199. Po dokončení této konfigurace nesmíme zapomenout na poslední krok REBOOT routeru, kterým se vše uloží.

### 4.3 Konfigurace systému DVB/IP

Po připojení našeho streameru do schématu, který je vyobrazen na obrázku 4.1, je nutnému zapojený router k DVB/IP streameru ještě předtím než se zapne. Pokud by se tak nestalo tak nám nebude přidělena IP adresa. Po nastartování systému jsme vyžádáni zadat login a heslo. Přihlašovací údaj jsou následující: Login: vsb

Heslo: iptv

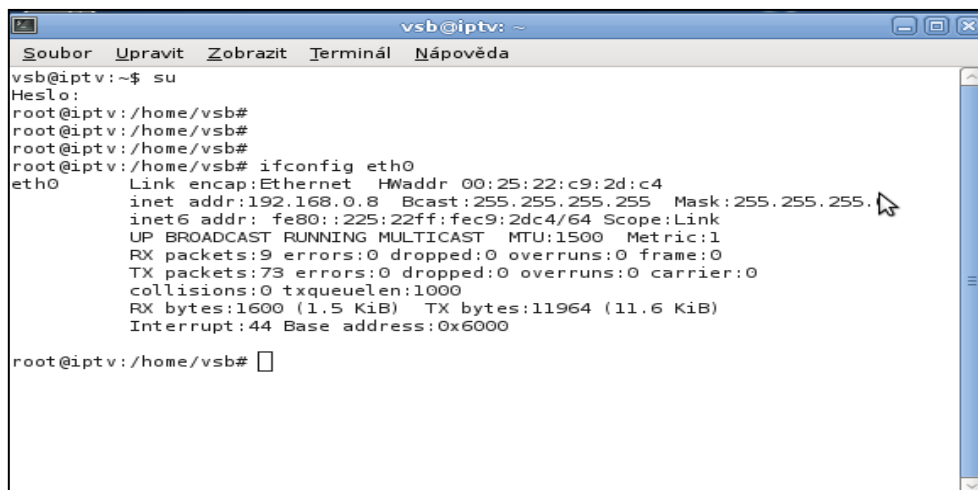
Heslo *iptv* je použito pro root přihlášení v terminálu. Tomu docílíme tak, že po spuštění terminálu, který se spustí buď klávesovou zkratkou *ctrl+alt+t*, nebo v záložce *Aplikace a Příslušenství*. V terminálu zadáme příkaz „su“ a následně zadáme heslo „*iptv*“.

#### 4.3.1 Konfigurace IP adresy na eth0

Pokud nám DHCP server nepřidělí IP adresu, budeme nuceni si jí sami nastavit, za předpokladu kdy víme, jaký máme adresní rozsah, tak je to jednoduché. Otevřeme si terminál a nejprve ověříme, zda nám byla přidělena a to příkazem přímo na naše síťové rozhraní eth0:

```
ifconfig eth0
```

Po zadání tohoto příkazu se nám zobrazí tento výpis:



Obrázek 4.2: Síťové rozhraní eth0.

Z obrázku 4.2 jde vidět, že DHCP server přidělil adresu 192.168.0.8 a maska sítě je tedy 255.255.255.0.

### 4.3.2 Nastavení hodnot kmitočtů pro DVB-T

Proto, aby se dal přijímat signál DVB-T, je potřeba nastavit konfigurační soubor „stream-1-dvbt“, který se nachází v kořenové složce „/iptv“. Tento soubor je nutné otevřít v programu GEDIT, který funguje jako textový editor. Pro konfiguraci kmitočtů je nutné použít vysílací kmitočty, na kterých je umožněno vysílání v Ostravě. Proto jsou zde vytvořeny dvě tabulky pro dva multiplexy:

Tabulka 4.1: *Multiplex 1.*

Kanál	Vysílací kmitočet [MHz]	Další parametry:
ČT1	738	8 MHz, 8K, guard 1/4, 2/3, 64 QAM
ČT2		
ČT4 SPORT		
ČT24		

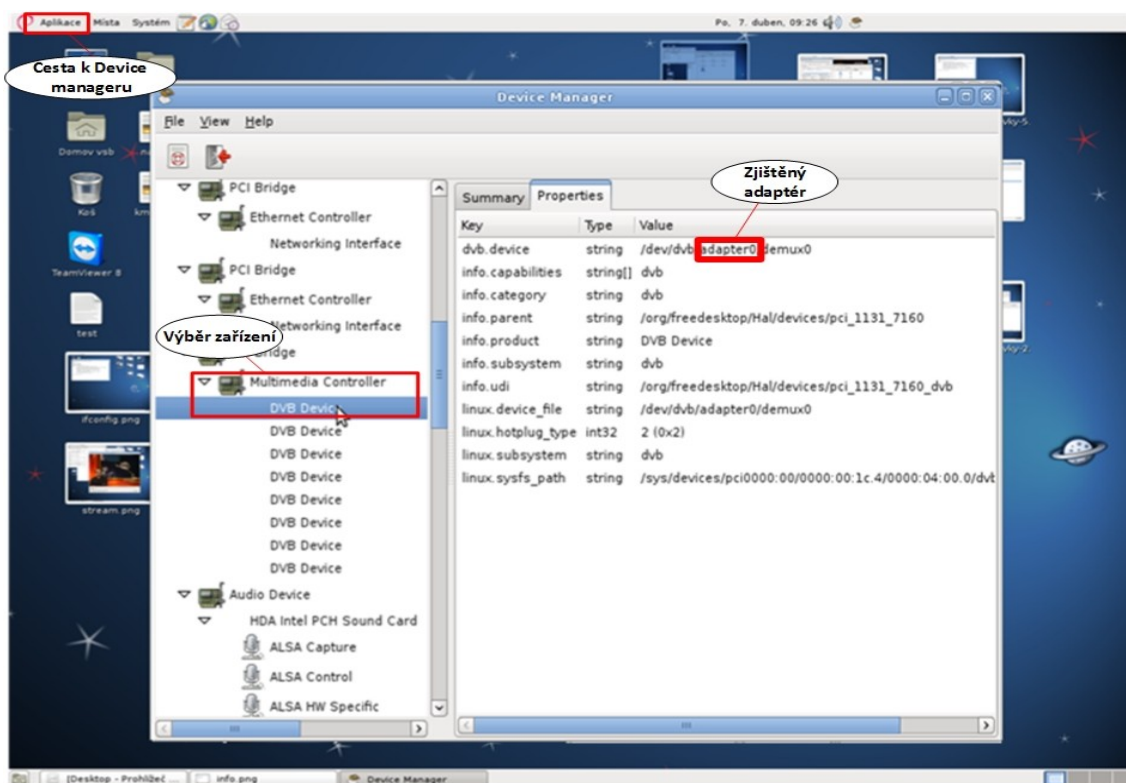
Tabulka 4.2: *Multiplex 2.*

Kanál	Vysílací kmitočet [MHz]	Další parametry:
NOVA	602	8 MHz, 8K, guard 1/8, 3/4, 64 QAM
NOVA CINEMA		
PRIMA FAMILY		
PRIMA COOL		
TV BARANDOV		

Ted', když jsou známy kmitočty, je nutné ještě zjistit jaký interface je určen pro vstup TV signálu. Tento interface lze jednoduše zjistit tímto způsobem:

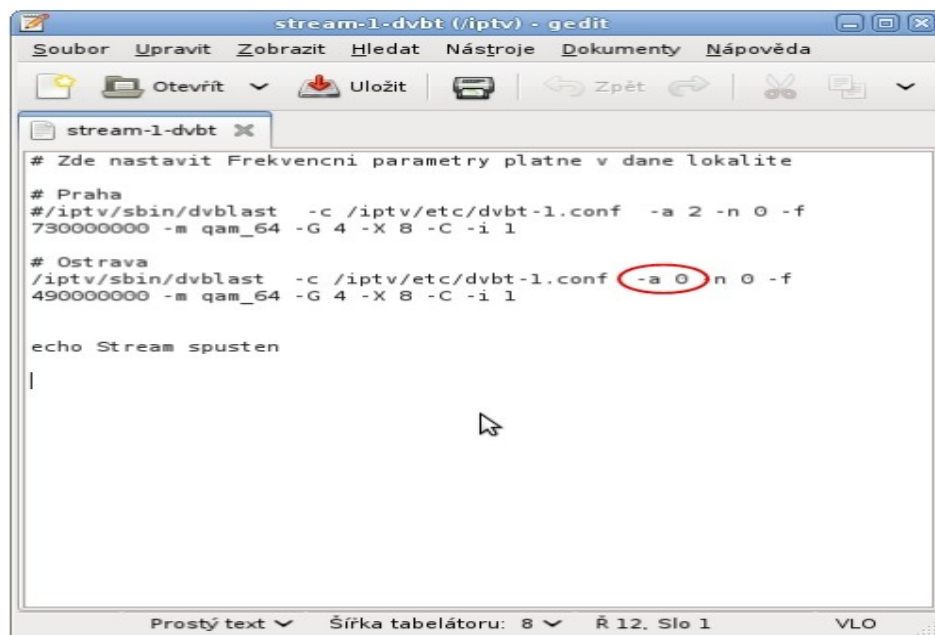
Kliknutí na záložku „**Aplikace**“ a po rozvinutí záložek zvolit „**Device manager**“. Po otevření této aplikace se zobrazí okno s postraní lištou, kde po kliknutí na „**Multimedia Controller**“ a „**DVB Device**“ zjistíme pro nás důležitý parametr:





Obrázek 4.3: Návod na zjištění adapteru.

Po otevření souboru „**stream-1-dvbt**“ v programu GEDIT, je možné nastavit dané frekvence a další parametry tímto způsobem:



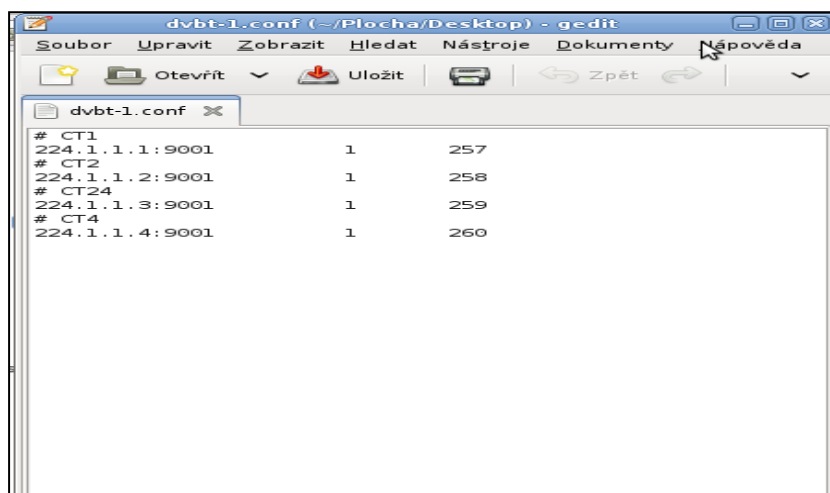
Obrázek 4.4: Soubor „stream-1-dvbt“.

Kde „a 0“ je nalezený adaptér v Device Manageru, „f“ frekvence daného multiplexu a zbytek jsou další parametry, které jsou obsaženy v tabulkách 4.1 – 4.2.

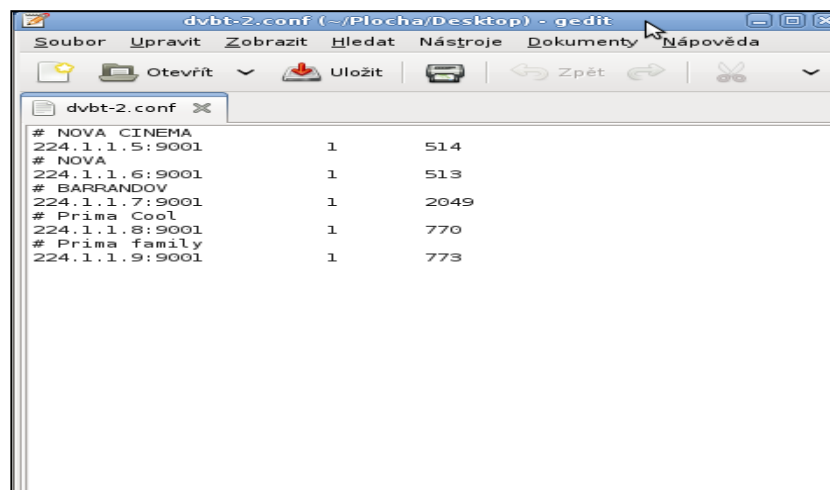
Po každé provedené konfiguraci, je nutné restartovat Streamer buď skriptem „restart-all“ nebo restartováním celého streameru. Při použití restartu celého systému se skripty se streamování spustí automaticky po opětovném naběhnutí systému Debian. Skript „restart-all“ se nachází ve složce */iptv*. Při použití tohoto skriptu se provede restart všech skriptů spojených s IPTV a streamováním.

### 4.3.3 Konfigurace multicastových adres TV kanály

Pro streamování do sítě je nutné, aby každý program měl svou multicastovou adresu, kterou následně koncový zákazník zachytí. Tyto multicastové adresy se nastavují pomocí dvou konfiguračních souborů a to „dvbt-1.conf“ a „dvbt-2.conf“. Oba dva soubory nalezneme ve složce */iptv*.



Obrázek 4.5: Výpis souboru s multicastovými adresy pro mux1.



Obrázek 4.6: Výpis souboru s multicastovými adresy pro mux2.

Z obrázku 4.5 a 4.6 lze vidět, jak nastavit multicastovou adresu pro jednotlivé kanály. Toto je velmi důležitý krok, před tím, než se začne streamovat. Bez multicastové adresy nelze odchytávat video na straně účastníka. Po provedení nakonfigurování těchto adres je nutné stream opět restartovat.

#### 4.3.4 Ověření funkčnosti nastavení DVB/IP Streameru

Funkčnost streamování lze ověřit spuštěním skriptu „**stream-1-dvbt**“, který má v sobě již nastavený spouštěcí program VLC, který daný stream přehrává. Skript „**stream-1-dvbt**“ je umístěn na ploše ve složce „**Nahledy**“. Při zapnutí tohoto skriptu se zobrazí přehrávač VLC a jeho výstup by měl vypadat následovně:



Obrázek 4.7: Výstup po spuštění skriptu „**stream-1-dvbt**“.

#### 4.3.5 Shrnutí všech důležitých skriptů a souborů

- **Stream-X-dvbt:** Tento skript slouží pro ověření funkčnosti streamování. Na straně DVB/IP slouží především pro ověření kvalitního příjmu DVB-T.
- **Dvbt-1.conf a dvbt-2.conf:** Tyto dva soubory jsou důležité pro nastavení multicastových adres.
- **Restart-all:** Tento skript provede restart všech skriptů, které jsou spojeny s IPTV.
- **Stream-restart-all:** Tento skript slouží pro restartování streamů.
- **Stream-stop-all:** Skript, který zastaví veškeré běžící streamy.
- **Interfaces:** Soubor pro úpravu IP adres. Tento soubor se nachází ve složce /etc/network.

Všechny skripty a soubory kromě souboru interfaces, které jsou zde popsány, jsou umístěny ve složce **/iptv**.

## 4.4 Konfigurace na straně účastníka

Konfigurace na straně účastníka je založena především na tom, aby byl koncový uživatel v místní síti a měl příslušnou IP adresu a masku této sítě. V případě této topologie se o přidělování adres stará DHCP server, který je zapojen do switchu.

### Koncové zařízení:

- Notebook Acer s nainstalovaným VLC playerem.

### 4.4.1 Nastavení programu VLC

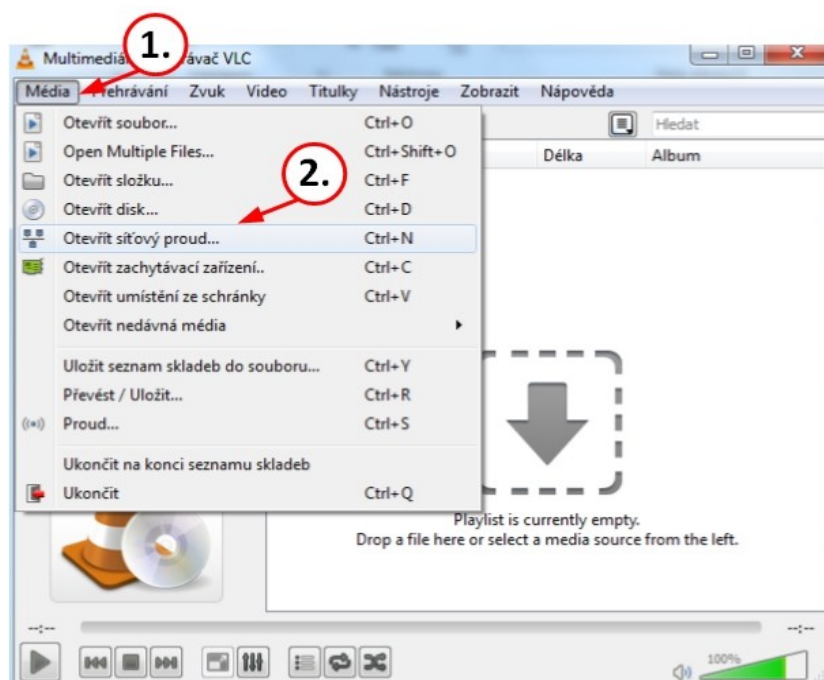
Prvním důležitým krokem k tomu, aby byla možnost sledovat stream na koncovém zařízení je nutnost mít nainstalovaný program VLC player. Tento program je freeware, tudíž je volně šiřitelný a stahovatelný. Pro sledování jakéhokoliv streamu je důležité znát multicastové adresy, které jsou v tabulce 4.3. Z toho vyplývá, že každý TV program (Nova, Prima, atd.) musí mít svou vlastní multicastovou adresu, kterou si koncový uživatel zvolí.

Tabulka 4.3: *Multicast adresy pro TV kanály.*

TV kanál	Adresa	TV kanál	Adresa
ČT1	224.1.1.1:9001	NOVA cinema	224.1.1.5:9001
ČT2	224.1.1.2:9001	NOVA	224.1.1.6:9001
ČT SPORT	224.1.1.3:9001	TV BARANDOV	224.1.1.7:9001
ČT 24	224.1.1.4:9001	PRIMA COOL	224.1.1.8:9001
		PRIMA FAMILY	224.1.1.9:9001

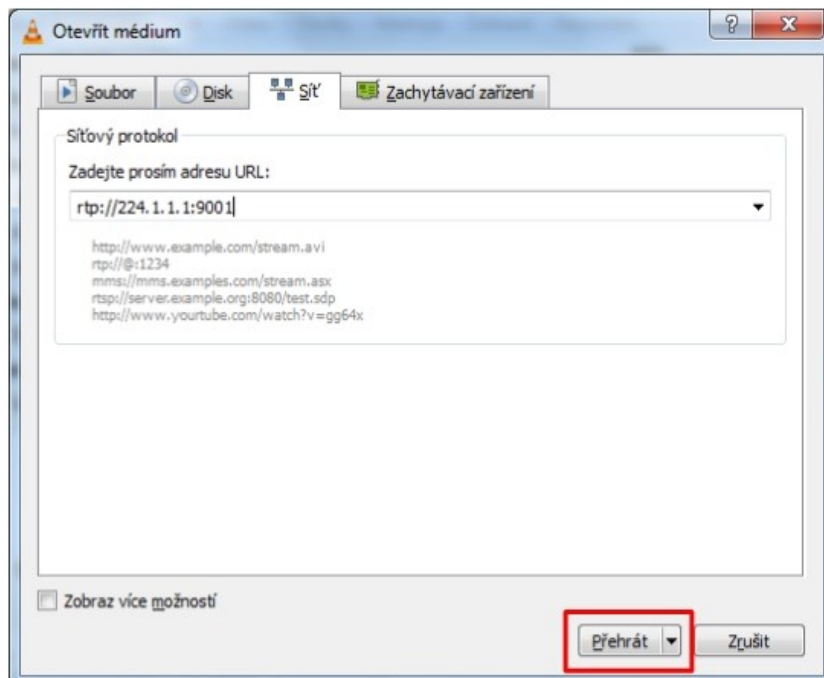
### Nastavení pro sledování streamu se děje tímto způsobem:

1. Instalace VLC player.
2. Spuštění VLC player.
3. Nastavení síťového proudu.



Obrázek 4.8: *Návod na otevření síťových proudů.*

Na obrázku 4.8 je návod jak otevřít síťové proudy, které jsou důležité pro spuštění streamu.



Obrázek 4.9: *Vložení multicástové adresy a portu daného TV kanálu.*



Obrázek 4.10: *Spuštěný stream*

Pro zadání adresy, na které vysílá daný program je vytvořena tabulka 4.3, která obsahuje všechny adresy TV programů. Po zadání adresy zbývá už jen zmáčknout tlačítko přehrát a daný kanál, který se na této adrese nachází, bude spuštěn.



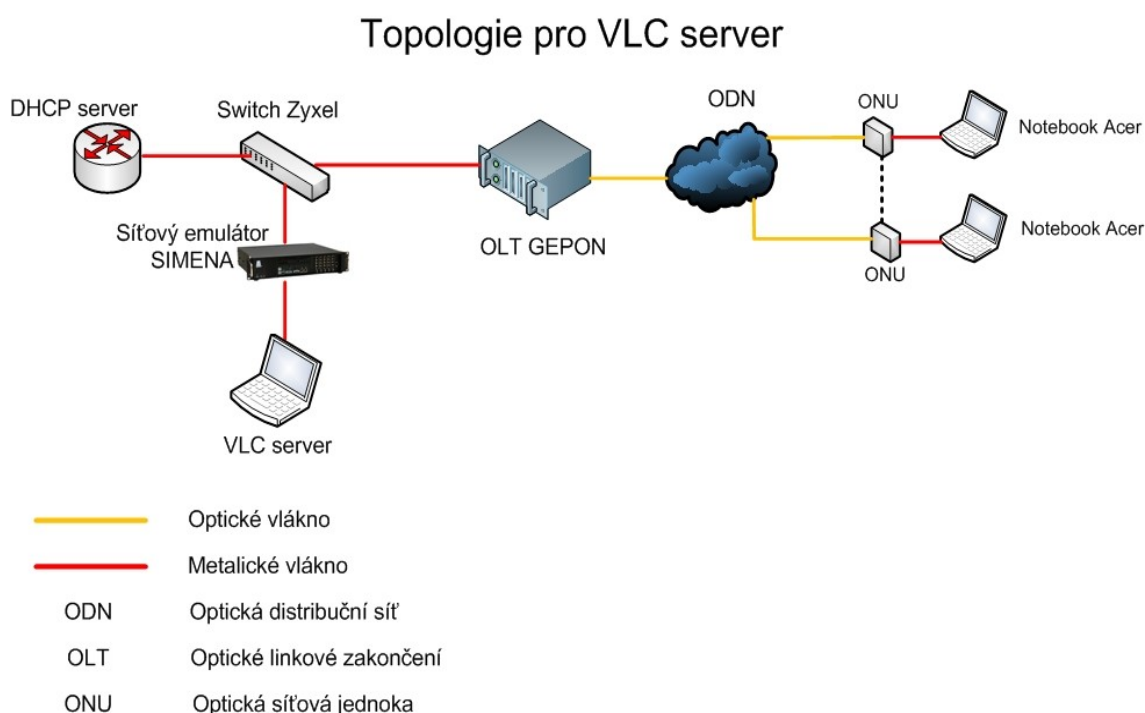
## 5 Streamování videa pomocí VLC serveru

Pro streamování videa pomocí VLC serveru, je použit freeware software od firmy VIDEOLAN, který nese název VLC player.

### 5.1 VLC player

VLC je svobodný multiplatformní multimediální přehrávač a framework s otevřeným zdrojovým kódem, který přehraje většinu multimediálních souborů, DVD, zvukových CD, VCD a různých proudových protokolů [16].

### 5.2 Topologie pro streamování videa prostřednictvím VLC serveru



Obrázek 5.1: Topologie pro zapojení s VLC serverem.

Na obrázku 5.1 je zobrazena topologie, která byla použita pro zapojení do přístupové sítě GEAPON. Jako VLC server byl použit notebook, na kterém byl nainstalován program VLC server. Notebook byl zapojen do síťového emulátoru Simena, na kterém se mění parametry. Dále bylo vše zapojeno do switchu, do kterého byl zapojen i DHCP server, který se staral o adresaci. Vše bylo přes metalický kabel připojeno do OLT GEAPON. OLT bylo pomocí optického vlákna připojeno do distribuční sítě (ODN), kde se nacházel dělič 1:7, který rozdělil

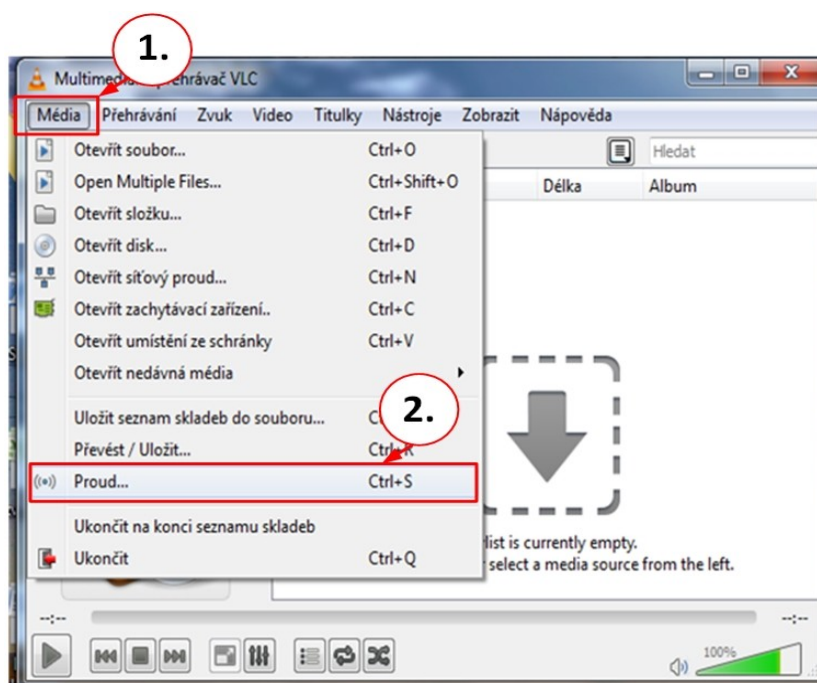
optický signál do ONU jednotek. Z ONU jednotek byly následně pomocí metalického kabelu připojena koncová zařízení.

## 5.3 Konfigurace VLC serveru

Konfigurace je prováděna na notebooku, na kterém je nainstalován software VLC player. Pro vysílání je důležité si rozmyslet, jaký bude zvolen princip vysílání. Vybírat se dá z šíření streamu přes multicast nebo unicast

### 5.3.1 Postup konfigurace pro unicast je popsán těmito kroky:

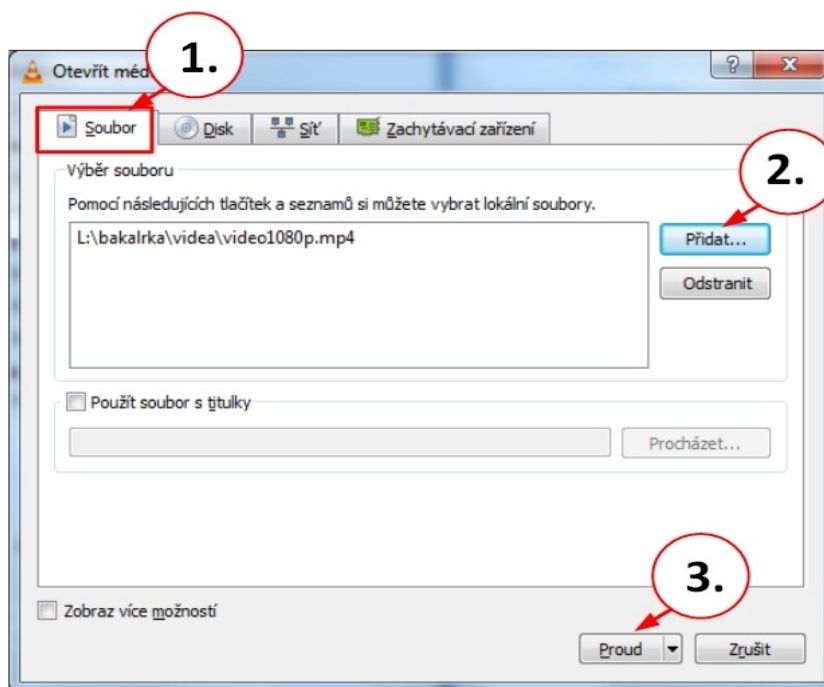
1. Instalace VLC player.
2. Otevření VLC player.
3. Spuštění síťového proudu.



Obrázek 5.2: *Spuštění síťového proudu.*

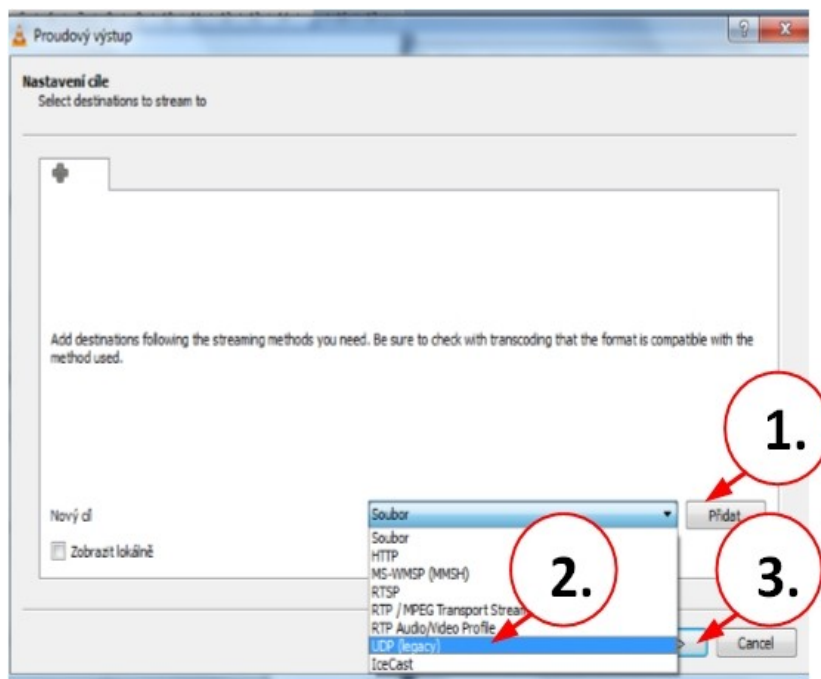
Tímto způsobem se dostaneme do nabídky, kde se dále zvolí video, které bude dále streamováno.



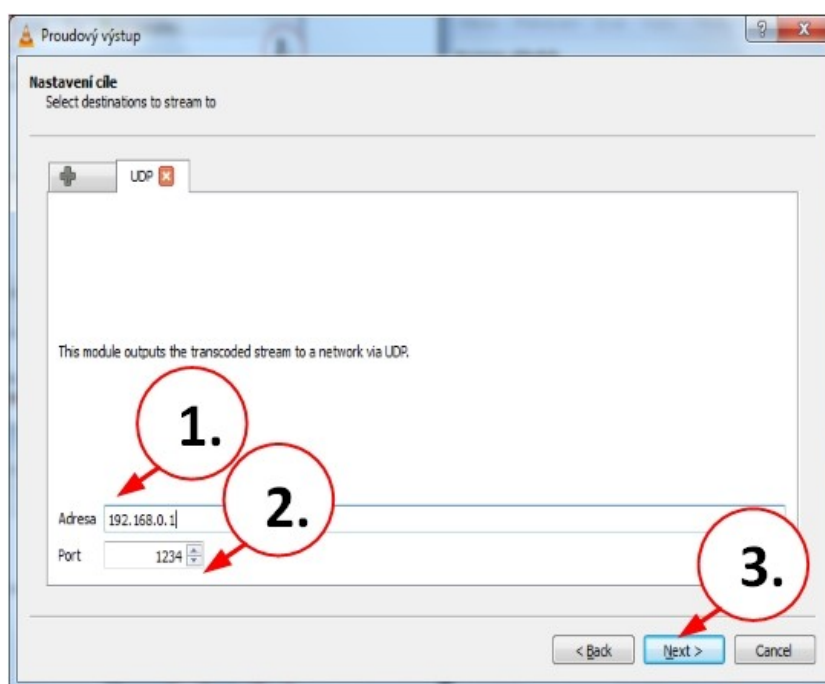


Obrázek 5.3: Přidání videa.

V prvním kroku zvolíme záložku „Soubor“, kde pomocí tlačítka „Přidat...“ vybereme video, které se bude streamovat. Následně se zvolí tlačítko „Proud“.



Obrázek 5.4: Vybrání unicastového protokolu.



Obrázek 5.5: *Nastavení cílové adresy.*

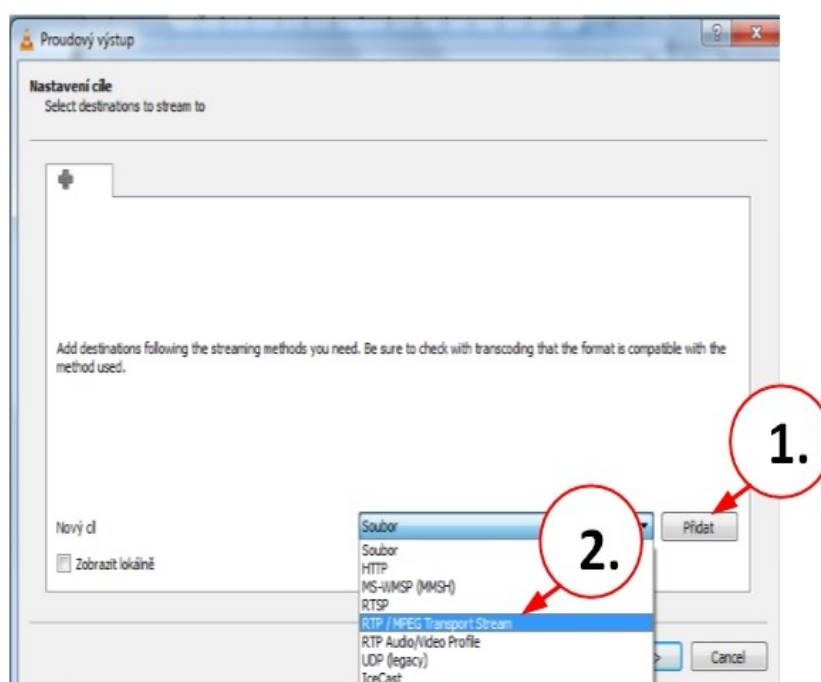
Pro komunikaci typu unicast je důležité nastavit cílovou adresu, pro kterou bude daný stream směřován. V tomto případě je to adresa 192.168.0.1 a port 1234. Vše se potvrdí tlačítkem další.

Dále se už pouze vybere, v jakém typu souboru se bude video vysílat a vše se dokončí tlačítkem Stream.

### 5.3.2 Postup konfigurace pro multicast je popsán těmito kroky:

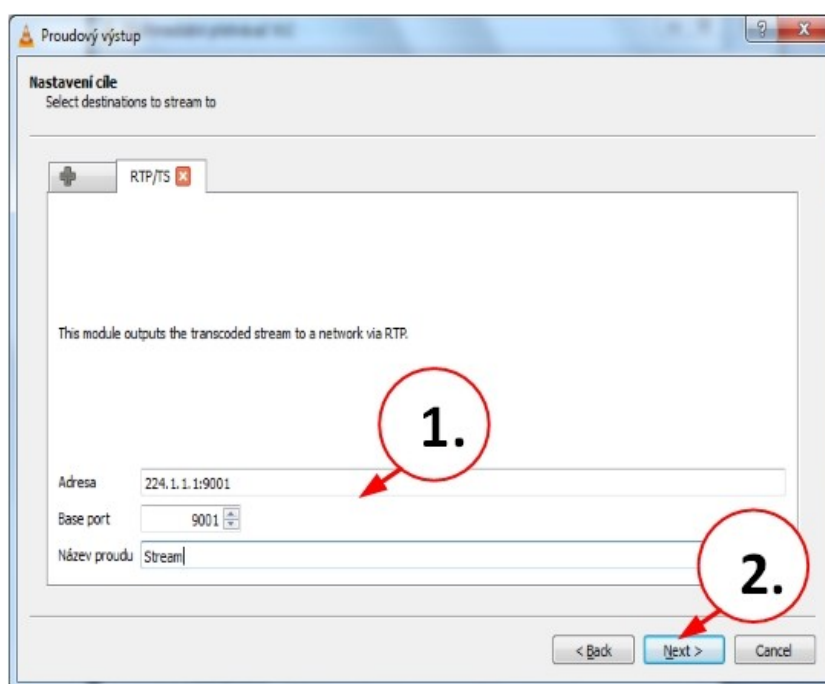
1. Instalace VLC player.
2. Otevření VLC player.
3. Spuštění síťového proudu.

Konfigurace VLC je obdobná jako je tomu u unicast komunikace, ale liší se v kroku výběru protokolu.



Obrázek 5.6: *Výběr multicastového protokolu.*

Proto, aby bylo možné streamovat typem multicast, je nutné vybrat správný protokol. Z výběru se zvolí protokol RTP/MPEG Transport Stream. Následně se zvolí přidat.



Obrázek 5.7: *Nastavení multicastové adresy.*

Nyní je důležité nastavit multicastovou adresu a port na kterém bude stream vysílat. V tomto případě je to adresa: 224.1.1.1 a port 9001. Po kliknutí na tlačítko dále se objeví okno s výběrem typu souboru a po jeho vybrání se streamování vytvoří kliknutím na tlačítko Stream.

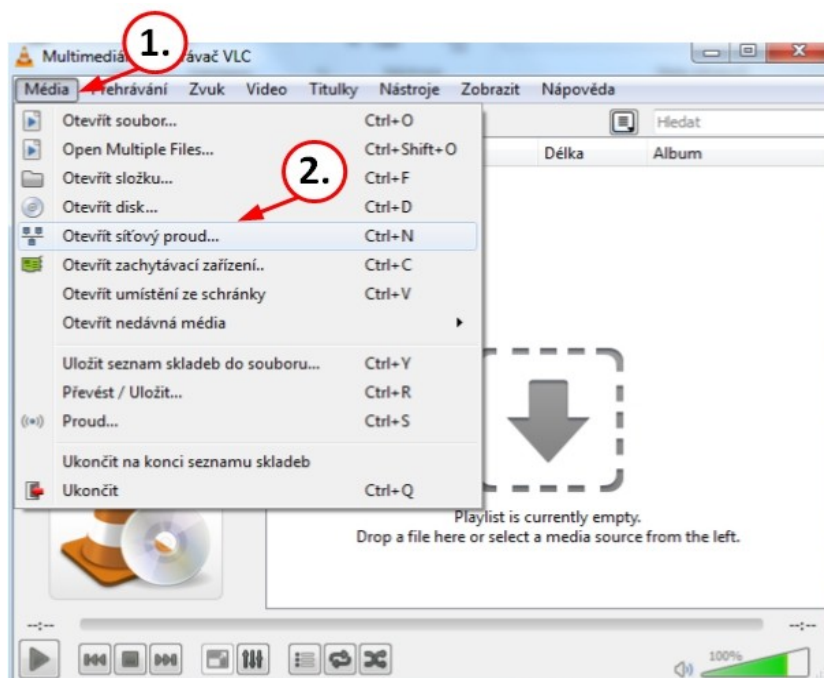
### 5.4 Konfigurace na straně VLC klient

Aby bylo možné video, které pochází z VLC serveru sledovat, je nutné mít na koncovém zařízení nainstalovaný VLC player.

Nastavení pro sledování streamu se děje tímto způsobem:

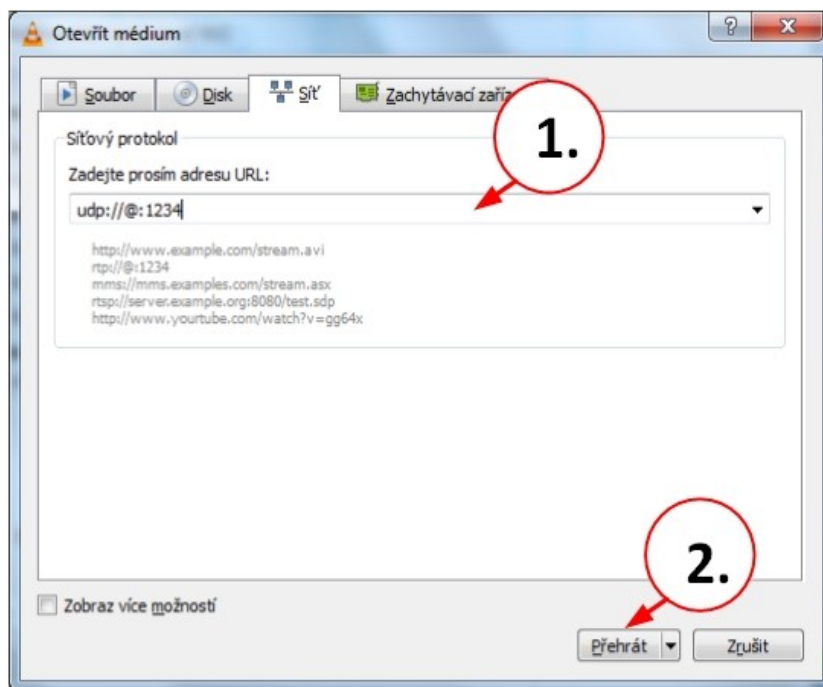
1. Instalace VLC player.
2. Spuštění VLC player.
3. Nastavení síťového proudu.

#### 5.4.1 Komunikace typu unicast



Obrázek 5.8: Otevření síťového proudu.

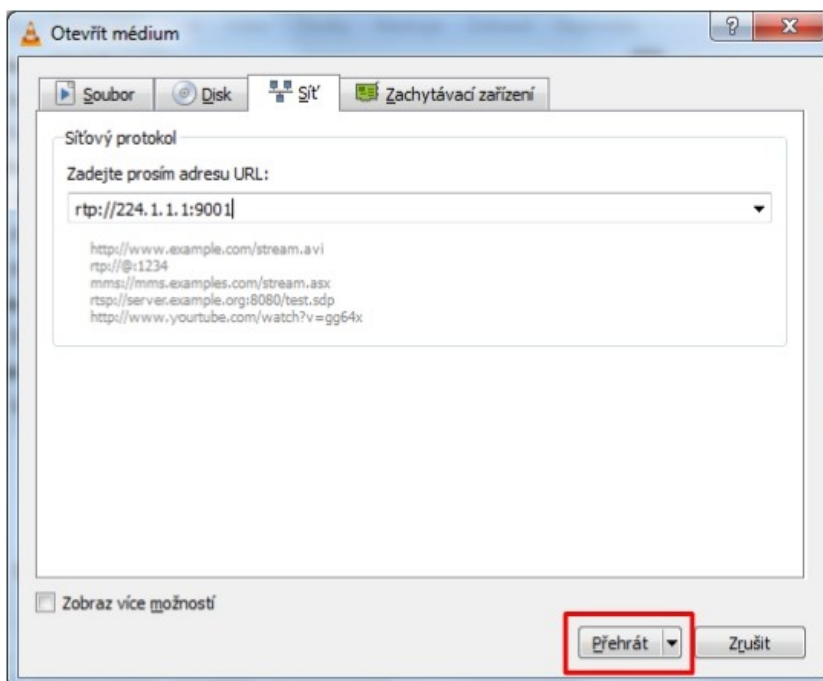
Pro sledování videa je nutné otevřít síťový proud a nastavit jeho port. Návod na otevření síťového proudu je na obrázku 5.8 a 5.9, kde je vše detailně ukázáno.



Obrázek 5.9: *Zadání portu pro sledování streamu v unicast.*

### 5.4.2 Komunikace typu multicast

Nastavení pro sledování komunikace typu multicast je téměř totožná jako u komunikace unicast. Rozdíl je pouze v použitém protokolu, protože u typu unicast stačí zadat protokol, na kterém je video vysíláno.



Obrázek 5.10: *Zadání multicastové adresy streamu.*

## 6 Hodnocení kvality

### 6.1 Kvalita služeb QoS

Předpokladem úspěchu služby IPTV je subjektivní kvalita vnímaná uživatelem. Bude-li kvalita špatná, zákazník si vybere jiný způsob příjmu televizního vysílání. Proto je nutné zajistit, aby byl obraz vizuálně čistý a bez výpadků. Kvalita IPTV služby je ovlivňována aktuálním stavem parametrů v datové síti (QoS), která přenáší video toky. Kvalita služeb (QoS) se určuje z technických vlastností sítě a dovoluje poskytovatelům IPTV garantovat a kontrolovat kvalitu nabízených služeb. Problémem však zůstává, jak je tato kvalita služeb vnímána koncovými uživateli. Přenášené video toky mohou být v různých formátech (SDTV a HDTV) a s použitím různé komprese (MPEG-2, MPEG-4/H.264). Tento datový signál má potom různé nároky na přenos v datové síti [17].

#### 6.1.1 Ztrátovost paketů (Packet Loss)

Je průměrný počet ztracených paketů za určité období vyjádřený v % vzhledem k celkovému počtu přenesených paketů[17].

#### 6.1.2 Propustnost (Bandwidth)

Udává kapacitu přenosového kanálu a je tedy výchozím parametrem pro nabídku poskytovaných služeb. Kapacita kanálu C vyjadřuje maximální množství informace přenesené za jednotku času[17].

#### 6.1.3 Změna pořadí paketů (Packet Order)

Je přímým důsledkem existence zpoždění i principem individuálního směřování každého paketu[17].

#### 6.1.4 Celkové zpoždění (Latency)

Je čas, který uplyne od odeslání zprávy zdrojovým uzlem po její přijetí na uzlu cílovém; zahrnuje zpoždění v přenosové trase a na zařízeních, které jsou její součástí[17].

#### 6.1.5 Zpoždění (Delay)

Je zpoždění proměnné velikosti a vzniká naplněním paketů do fronty na odchozí interface[17].

#### 6.1.6 Kolísání zpoždění (Jitter)

Představuje variabilitu v doručování paketů cílovému uzlu (tedy ve zpoždění při přenosu). Způsobuje přetečení nebo podtečení vyrovnávací paměti v set-top boxu[17].

Tabulka 6.1: Základní provozní vlastnosti podle třídy služeb (Metro Ethernet) [17].

<b>Třída služby</b>	<b>Charakteristika služby</b>	<b>CoS ID</b>	<b>Základní provozní vlastnosti</b>
<b>Premium</b>	IP telefonie v reálném čase nebo IP video aplikace	6, 7	Delay < 5ms Jitter < 1ms Loss < 0.001%
<b>Silver</b>	Přenos důležitých datových souborů s kolísavým zatížením, vyžadující nízké ztráty a malé zpoždění	4, 5	Delay < 5ms Jitter = N/S (není specif.) Loss < 0.01%
<b>Bronze</b>	Přenos dat s kolísavým profilem zátěže a potřebou zaručit jistou šířku pásma	3, 4	Delay < 15ms Jitter = N/S (není specif.) Loss < 0.1%
<b>Standard</b>	Best effort service	0, 1, 2	Delay < 30ms Jitter = N/S (není specif.) Loss < 0.5%

## 6.2 Subjektivní metoda hodnocení

Pro vytvoření charakteristik televizního signálu se využívají subjektivní metody hodnocení kvality obrazu. Tato metoda hodnocení kvality obrazu dokáže přesněji předpokládat reakce pozorovatelů, kteří sledují testovaný systém. Existuje doporučení ITU-R BT.500-11, které popisuje základní třídy, které jsou obsaženy v subjektivní metodě. První třída se zabývá vytvořením charakteristik systému za ideálních podmínek, kterými se vytváří hodnocení neboli hodnocení kvality. Druhá třída se zabývá hodnocením schopnosti systému zachovat kvalitu při neoptimálních podmínkách souvisejících s přenosem anebo s vysíláním. Toto se nazývá hodnocení poruch[19].

Výhodou subjektivní metody je fakt, že hodnocení je vytvářeno lidským smyslem a tím pádem lze omezit informace nepostřehnutelné lidskými smysly. Nevýhodou subjektivní metody je její časová náročnost.

**Subjektivní metoda se hodnotí tímto způsobem:**

- Určení sekvencí videa pro testování.
- Připravit si parametry, se kterými se bude pracovat.
- Nalézt pozorovatele, který bude hodnotit kvalitu.
- Dokončit test a vyhodnotit kvalitu.

**Hodnocení subjektivní metody může být prováděno těmito způsoby:**

**MOS–V:** hodnotí kvalitu zobrazeného videa IPTV toku.

**MOS–A:** hodnotí kvalitu zvuku přicházejícího IPTV toku.

**MOS–AV:** hodnotí současně kvalitu zvuku a videa přicházejícího IPTV toku.

Tabulka 6.2: *Stupnice pro hodnocení kvality.*

MOS	KVALITA	ZHODNOCENÍ
5	Výborné (Excellent)	Nepostřehnutelné
4	Dobré (Good)	Postřehnutelné
3	Slušné (Fair)	Mírně obtěžující
2	Špatné (Poor)	Obtěžující
1	Nevhodné (Bad)	Velmi obtěžující

Podle normy ITU-R BT.500 existují a jsou definovány tyto metody pro hodnocení kvality:

**6.2.1 DSIS (Double Stimulus Impairment Scale)**

V překladu tato metoda znamená dvojnásobně stimulovaná míra zhoršení. Používá se pro vyhodnocení poškození testovací sekvence v porovnání s originální. Oproti metody DSCQS je méně časově náročná, protože sekvence nezobrazují pouze jednou [18].

**6.2.2 DSCQS (Double Stimulus Continual Quality Scale)**

V překladu tato metoda znamená dvojnásobně stimulovaná kontinuální míra zhoršení. Využívá se pro měření kvality systému, který se vztahuje k referenční hodnotě, tedy pozorovatel není obeznámený s pořadím referenční sekvence. Díky vícenásobnému opakování testovací a referenční sekvence je metoda citlivá na velmi malé rozdíly v kvalitě. Tato metoda je velmi časově náročná [19].

**6.2.3 SS (Single Stimulus)**

Single stimulus je jednoduchá stimulovaná metoda. Tato metoda je hodnocení bez původního nezkresleného videa. Cyklus testování je obdobný jako u DSIS (šedá plocha – testovaná video sekvence – šedá plocha, hlasování), celý rozsah testu lze zopakovat třikrát [20].



#### 6.2.4 **SSCQE (Single Stimulus Continual Quality Evaluation)**

Metoda SSCQE znamená v českém jazyce jednostimulové kontinuální hodnocení kvality videa. SSCQE je založen na hodnocení jednotlivých sekvencí. Tyto sekvence jsou rozděleny podle obsahu. Hodnocení probíhá z hlediska celkového vjemu, vyhodnocení kodeku a určení hranic parametru pro vnímání obrazu. Hodnocení jedné sekvence trvá 5 minut.

#### 6.2.5 **SDSCE (Simultaneous Double Stimulus Continuous Evaluation)**

Metoda SDSCE znamená v českém jazyce stimulovaný dvojitý stimulus pro kontinuální hodnocení kvality videa. Metoda vychází z porovnání dvou sekvencí, které porovnává kontinuálně pozorovatel.

## 7 Porovnání metod nasazení IPTV

Po nasazení IPTV prostřednictvím DVB/IP streameru a VLC serveru je nutné obě dvě metody porovnat. Porovnání je prováděno z hlediska subjektivní metody. Výhody a nevýhody obou metod streamování jsou popsány níže v bodě.

### 7.1 Výhody a nevýhody DVB/IP streameru

#### Výhody:

- Jednoduchá konfigurace pomocí předpřipravených skriptů.
- Možnost sledování DVB-T vysílání.
- Spolehlivý operační systém.
- Možnost šíření signálu přes multicast, unicast.

#### Nevýhody:

- Formát přehrávání pouze MPEG-2.
- Nutnost připojení výkonné antény.
- Po delší době streamování je nutné DVB/IP streamer restartovat pomocí skriptu.
- Závislost na přijímaném TV signálu.

### 7.2 Výhody a nevýhody VLC serveru

#### Výhody:

- Jednoduchá konfigurace.
- Možnost sledování všech formátů (MPEG-2, MPEG-4).
- Freeware software VLC player.
- Možnost streamování širokého spektra videí.

#### Nevýhody:

- Nutnost použití počítače/notebooku.
- Náročné na HW.
- Náchylné na výpadky internetového připojení.
- U klienta je nutné mít vysokou operační paměť RAM.

### 7.3 Hodnocení kvality z hlediska subjektivní metody

Hodnocení obou metod je i z hlediska subjektivní metody. Tato metoda je podrobně popsána v kapitole 6. Pro hodnocení kvality přijímaného obrazu byli vybráni tři pozorovatelé, kteří průběžně hodnotili změny parametrů.

Parametry se měnili na síťovém emulátoru Simena. Na tomto přístroji se měnily tyto parametry:

- Propustnost (Bandwidth).
- Ztrátovost (Packet Loss).
- Chybovost (BER – Bit Error Rate).

Parametry se měnili v deseti krocích, kdy každý krok trval 3 minuty. Během tohoto času byly pořizovány snímky obrazu. Tyto snímky byly pořizovány v těchto okamžicích:

1. Originální obraz.
2. Hranice, kdy se dal obraz sledovat.
3. Snímek, kdy se na obraz nedalo dívat.

#### 7.3.1 Propustnost u DVB/IP streameru při formátu videa MPEG-2



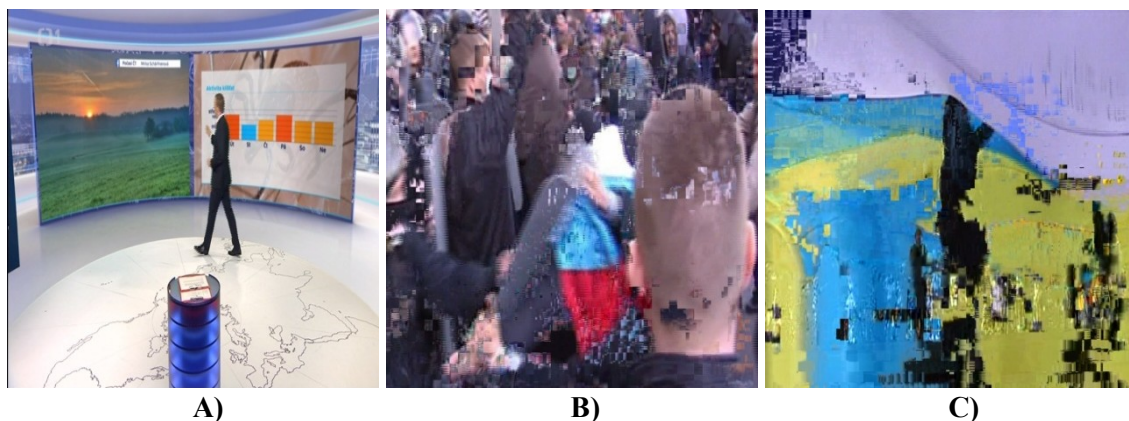
Obrázek 7.1: *Propustnost u DVB/IP streameru.*

Propustnost byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- A) 100 Mbps
- B) 10 Mbps
- C) 5 Mbps

Kde propustnost o velikosti 100 Mbps byla originální rychlost. Při rychlosti 10 Mbps se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u propustnosti pouze 5 Mbps se obraz rozpadl.

### 7.3.2 Ztrátovost u DVB/IP streameru při formátu videa MPEG-2



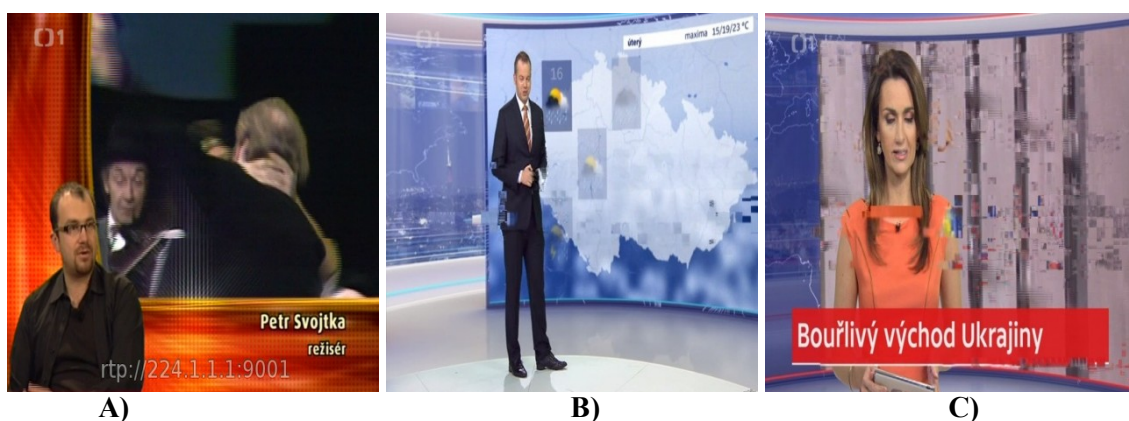
Obrázek 7.2: Ztrátovost u DVB/IP streameru.

Ztrátovost byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- A) 0 %
- B) 2 %
- C) 5 %

Kde ztrátovost o velikosti 0 % byla originální kvalita obrazu. Při ztrátovosti 2 % se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u ztrátovosti 5 % se obraz úplně rozpadl.

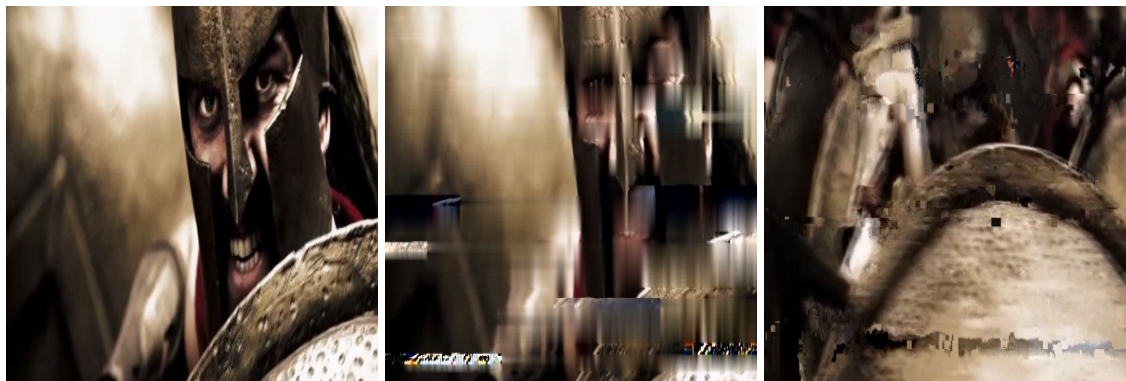
### 7.3.3 Chybovost u DVB/IP streameru při formátu videa MPEG-2



Obrázek 7.3: Chybovost u DVB/IP streameru.

Chybovost BER, byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- C)**  $10^5$



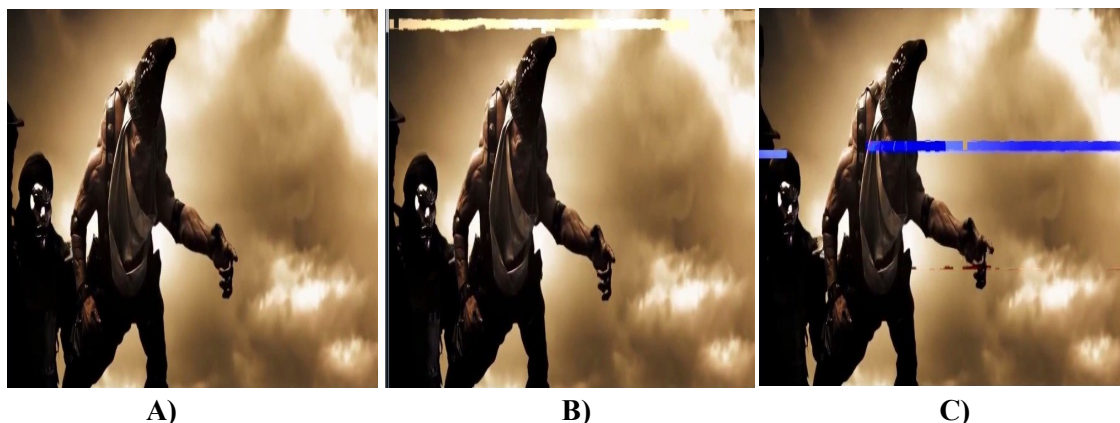
C)

Obrázek 7.4: *Propustnost u VLC serveru*

- C) 5 Mbps**



### 7.3.5 Ztrátovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-2



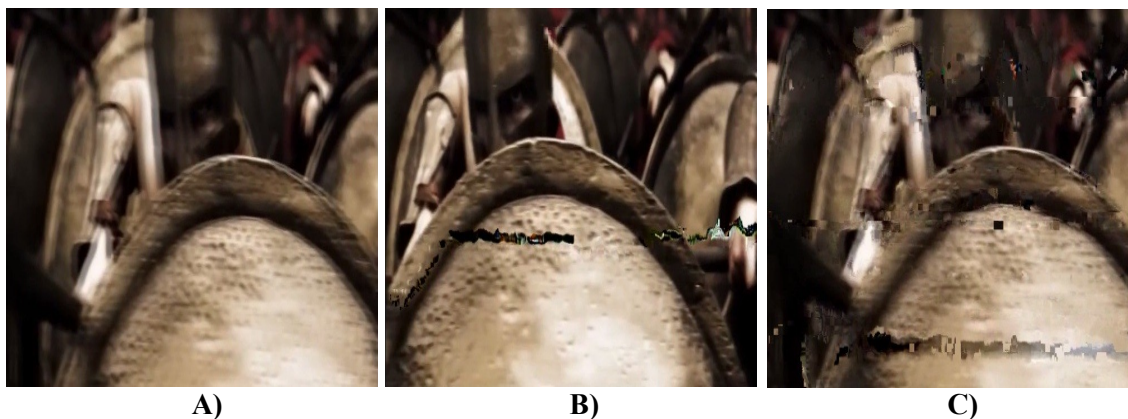
Obrázek 7.5: *Ztrátovost u VLC serveru.*

Ztrátovost byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- A) 0 %
- B) 2 %
- C) 5 %

Kde ztrátovost o velikosti 0 % byla originální kvalita obrazu. Při ztrátovosti 2 % se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u ztrátovosti 5 % se obraz úplně rozpadl

### 7.3.6 Chybovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-2



Obrázek 7.6: *Chybovost u VLC serveru.*

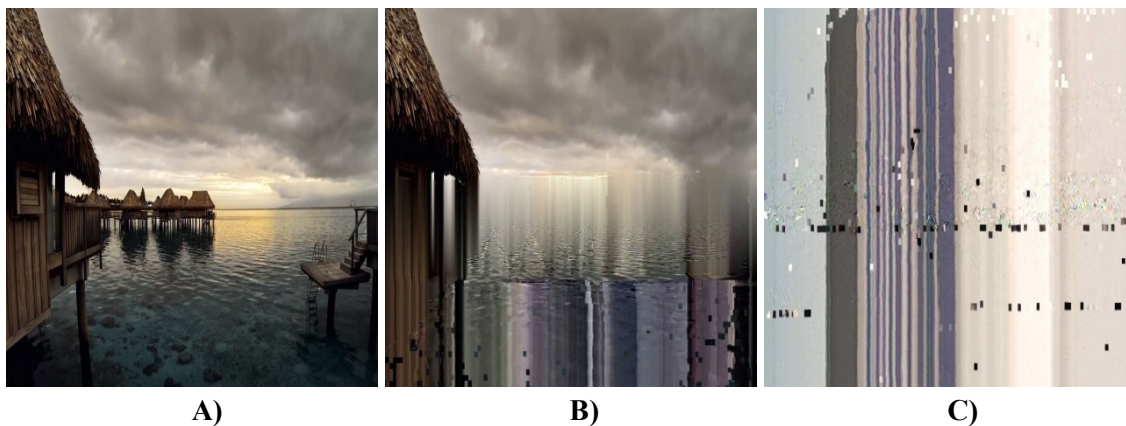
Chybovost BER, byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- A)  $10^{13}$
- B)  $10^6$

C)  $10^5$

Kde chybovost BER o velikosti  $10^{13}$ , byla originální kvalita obrazu. Při ztrátovosti  $10^6$  se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u chybovosti  $10^5$  se obraz úplně rozpadl.

### 7.3.7 Propustnost u VLC serveru při formátu videa MPEG-4



Obrázek 7.7: *Propustnost u VLC serveru.*

Propustnost byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

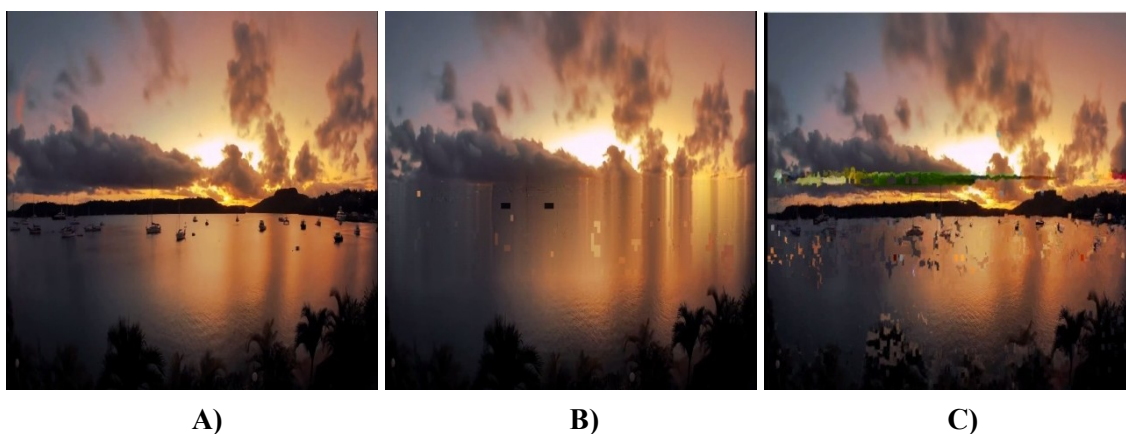
A) 100 Mbps

B) 10 Mbps

C) 5 Mbps

Kde propustnost o velikosti 100 Mbps byla originální rychlost. Při rychlosti 10 Mbps se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u propustnosti pouze 5 Mbps se obraz rozpadl.

### 7.3.8 Ztrátovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-4



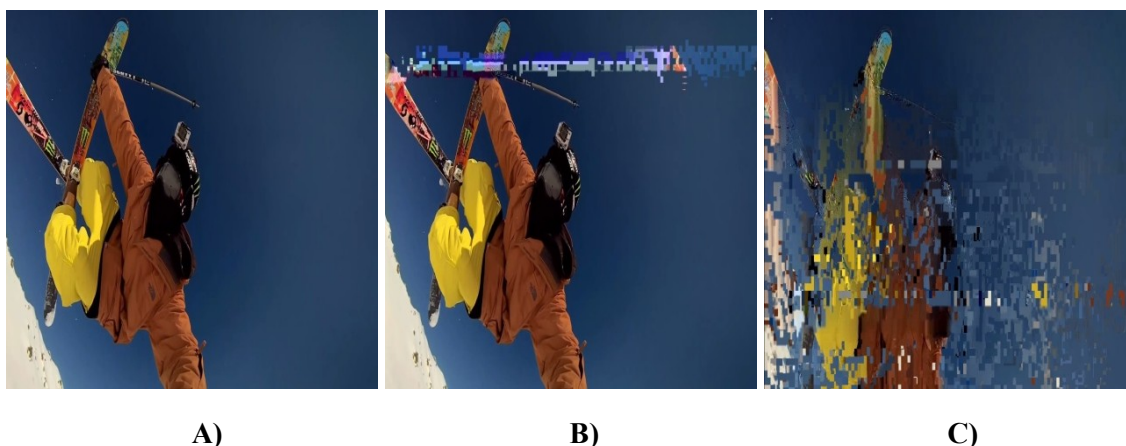
Obrázek 7.8: *Ztrátovost u VLC serveru.*

Ztrátovost byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- A) 0 %
- B) 2 %
- C) 5 %

Kde ztrátovost o velikosti 0 % byla originální kvalita obrazu. Při ztrátovosti 2 % se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u ztrátovosti 5 % se obraz úplně rozpadl

### 7.3.9 Chybovost u VLC serveru při formátu videa MPEG-4



Obrázek 7.9: Chybovost u VLC serveru.

Chybovost BER, byla nastavena v 10 krocích, ale byly vybrány pouze 3, které jsou důležité při hodnocení kvality.

- A)  $10^{13}$
- B)  $10^6$
- C)  $10^5$

Kde chybovost BER o velikosti  $10^{13}$ , byla originální kvalita obrazu. Při ztrátovosti  $10^6$  se objevila hranice, kdy se obraz ještě dá sledovat, avšak u chybovosti  $10^5$  se obraz úplně rozpadl.

## 7.4 Zhodnocení tabulkou

Tabulka 7.1: Hodnocení kvality pro DVB/IP

DVB/IP	Parametry	Hodnocení	Parametry	Hodnocení	Parametry	Hodnocení
Formát videa	MPEG-2	/	MPEG-2	/	MPEG-2	/
Propustnost	100 Mbps	5	10 Mbps	3	5 Mbps	2
Ztrátovost	0 %	5	2 %	2	5 %	1
Chybovost	$10^{13}$	5	$10^6$	3	$10^5$	1



Tabulka 7.2: *Hodnocení kvality pro VLC – server*

VLC - server	Parametry	Hodnocení	Parametry	Hodnocení	Parametry	Hodnocení
Formát videa	MPEG-2	/	MPEG-2	/	MPEG-2	/
Propustnost	100 Mbps	5	10 Mbps	3	5 Mbps	2
Ztrátovost	0 %	5	2 %	3	5 %	1
Chybovost	$10^{13}$	5	$10^6$	3	$10^5$	1

Tabulka 7.3: *Hodnocení kvality pro VLC – server*

VLC - server	Parametry	Hodnocení	Parametry	Hodnocení	Parametry	Hodnocení
Formát videa	MPEG-4	/	MPEG-4	/	MPEG-4	/
Propustnost	100 Mbps	5	10 Mbps	2	5 Mbps	1
Ztrátovost	0 %	5	2 %	3	5 %	1
Chybovost	$10^{13}$	5	$10^6$	3	$10^5$	1

## Závěr

Bakalářská práce se zabývá nasazením IPTV prostřednictvím DVB/IP streameru a VLC serveru. Celé nasazení je realizováno na pasivní optické síti GEAPON. IPTV, která byla nasazena na tuto technologii, jsem testoval pomocí síťového emulátoru Simena. V průběhu celého měření jsem se neobešel bez zařízení od firmy EXFO. A to převážně o mikroskop nebo měřicí přístroj AXS-625, který jsem používal jen pro kontrolu funkčnosti streamu.

V první části bakalářské práce se snažím popsat problematiku IPTV a RF-TV. Celá práce je převážně zaměřena na IPTV, takže tato technologie je popsána velmi podrobně v kapitole s názvem IPTV.

Další část bakalářské práce tvoří praktická část. První kapitola, ve které se zaměřuji na praktické řešení, jsem zprovoznil DVB/IP streamer tak, aby byl schopen přijímat TV signály a následně je produkoval do sítě. Celé zprovoznění se provádělo pomocí skriptů, které byly dodány s celým zařízením. Dalším krokem a stěžejním bodem této práce bylo zprovoznění IPTV prostřednictvím VLC serveru, který byl nainstalován na jednom z notebooků v učebně N311. Po zprovoznění obou zařízení jsem mohl začít s jejich nasazením do optické přístupové sítě GEAPON. Schéma celého zapojení je v kapitole číslo 3. Největší problém v této topologii byl v použitém děliči, který byl v poměru 1:32 a jeho útlum byl příliš vysoký na to, aby bylo možné streamovat video. Z tohoto důvodu byl použit dělič s poměrem 1:7.

V poslední části této práce jsem se snažil pomocí síťového emulátoru Simena měnit parametry na zdroji vysílaného signálu a tím tak pozorovat změny v přijímaném obraze. Tyto změny jsem následně pomocí subjektivní metody vyhodnotil. V kapitole, kde hodnotím obraz, jsem se snažil zachytit sekvenci, kdy byl obraz originální, následně jeho hranici sledovanosti a naposled obraz, kdy se nedal sledovat. Celé měření probíhalo po deseti krocích, kdy každý krok trval 3 minuty.

Z vykonaných měření jsem zjistil, že kvalita služeb spojených s přenosem obrazu a videosignálu je značně závislá na propustnosti, chybovosti a ztrátovosti. HD formát videa, který je vysílán z VLC serveru je závislý na přenosové rychlosti která musí být minimálně 7 Mbps. V případě SDTV, která je vysílána z DVB/IP streameru je schopná přenášet obraz v rychlosti 2 Mbps. Hodnocení pomocí subjektivní metody je velmi složité, protože každý má jiný názor na vyhodnocení kvality. Z mého pohledu hodnocení bych obě metody nasazení IPTV ohodnotil jako srovnatelné. Obě dvě metody nasazení IPTV se při změnách parametrů chovaly téměř stejně.

## Použitá literatura

- [1] BEDNÁŘ, Jiří. *Digitální televize*. Praha: Sdělovací technika, 2006. ISBN 80-86645-11-8.
- [2] ANDERSON, Tom. Lootom. *Why RFoG?* [online]. 2011 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.lootom.com/view-1100093.html>>.
- [3] RFoG. *RF PON (RFoG) FTTB/FTTH Solution* [online]. 2013 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.lootom.com/en/products/RF-PON-%28RFoG%29-FTTB/FTTH-solution.html>>.
- [4] SEIDENBERG, Juergen. RF video Overlay: Open Access Solutions for Video Services on PONs. *SCTE interview* [online]. 3 - December 2010 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.bktel.com/bktel/print/scte%20interview.pdf>>.
- [5] LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. Praha: BEN-Technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-204-3.
- [6] KREJČÍ, J., ZEMAN, T.. *Úvod do IPTV* [online]. 2008 [cit. 2014-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=uvod-do-iptv&cislocclanku=2008100002>>.
- [7] KREJČÍ, Jaroslav. *Úvod do IPTV* [online]. 2008 [cit. 2014-04-18]. Dostupný z WWW: <[www.comtel.cz/files/download.php?id=4449](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4449)>.
- [8] SPURNÁ, Ivona. *Počítačové sítě*. Kralice na Hané: Computer Media s.r.o., 2010. ISBN 978-80-7402-036-0.
- [9] *TCP/IP - skupinové vysílání IP Multicast a Cisco* [online]. Samuraj, 2005-2009 [cit. 2014-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.samuraj-cz.com/clanek/tcpip-skupinove-vysilani-ip-multicast-a-cisco/>>.
- [10] Internet Group Management Protocol. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/IGMP>>.
- [11] IGMP architecture. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_Group\\_Management\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Group_Management_Protocol)>.
- [12] MPEG-2: Moving Picture Experts Group. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>>.
- [13] MPEG-4: Moving Picture Experts Group. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/MPEG-4>>.

- [14] *Co nabízí IPTV?* [online]. 4. 7. 2010. 2010 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.digitalnik.cz/zpravodajstvi/co-nabizi-iptv/>>.
- [15] *Co všechno nabízí IPTV. Služby IPTV* [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.digizone.cz/specially/iptv/co-vsechno-nabizi-iptv/>>.
- [16] VideoLan. *VideoLan organization: VLC player* [online]. 2014 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z WWW:< <http://www.videolan.org/vlc/>>.
- [17] Hodnocení kvality videa IPTV. *Hodnocení kvality IPTV* [online]. 2010 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010050004>>.
- [18] Mardiak, M., Filanová, J.: Quality of a video signal, In: International Conference New Information and Multimedia Technologies NIMT-2008, Brno, Czech Republic, Sept. 18-19, 2008, pp. 33-37, ISBN 987-80-214-3708-1
- [19] FILANOVÁ, J., MARDIAK, M. Měření kvality video signálu. *Elektrorevue.*, 2010/32 – 19.5.2010, s. 1-6. ISSN 1213-1539.
- [20] Rec. ITU-R BT.500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. ITU-R, 1974-2002.

## Seznam příloh

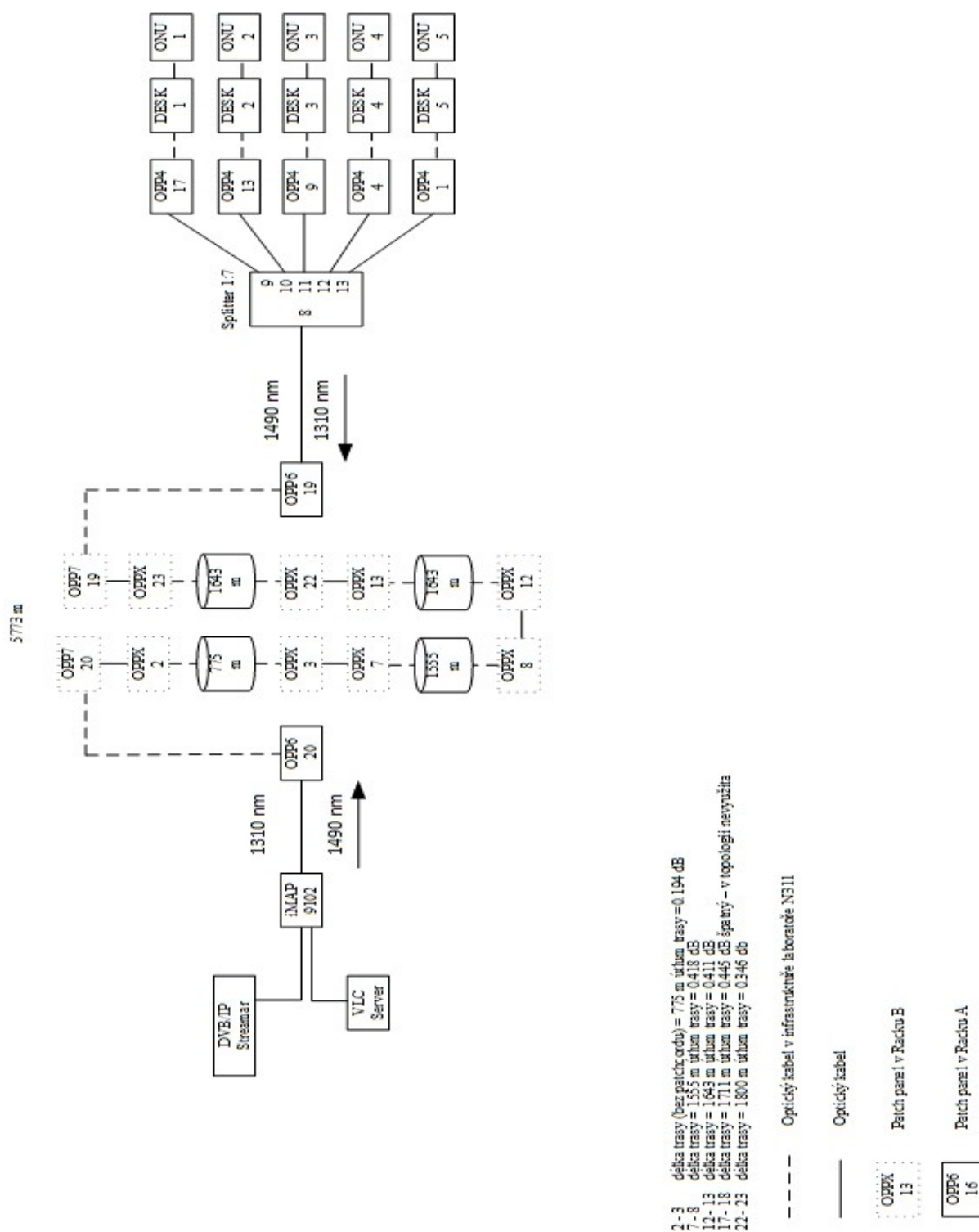
<b>Příloha A:</b>	TOPOLOGIE zapojení IPTV do GEPON.....	i
<b>Příloha B:</b>	RFoG – možnosti zapojení.....	ii
<b>Příloha C:</b>	RF overlay.....	iii
<b>Příloha D:</b>	Architektura IPTV.....	iii
<b>Příloha E:</b>	Nastavení DVB/IP v OS Debian.....	iv
<b>Příloha F:</b>	Obrázky pro porovnávání kvality.....	v

Součástí BP je CD.

Adresářová struktura přiloženého CD:

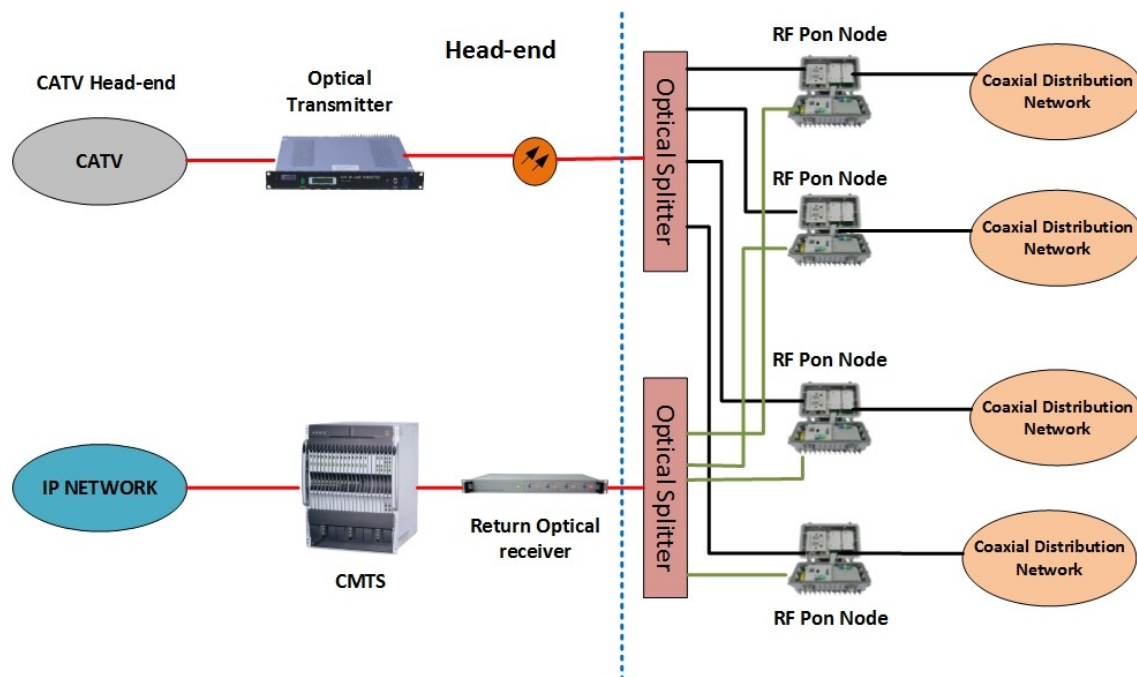
1. Elektronická podoba bakalářské práce.
2. Blokové schéma GEPON sítě.

Příloha A: *TOPOLOGIE zapojení IPTV do GEPON.*

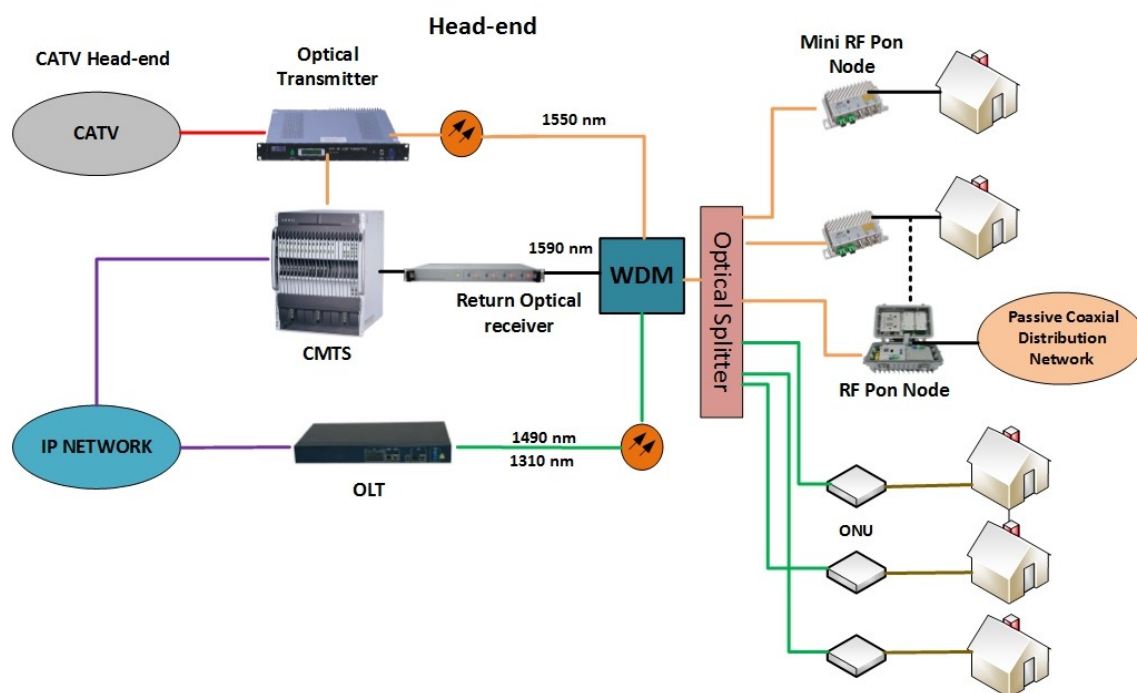


Příloha B: *RFoG – možnosti zapojení.*

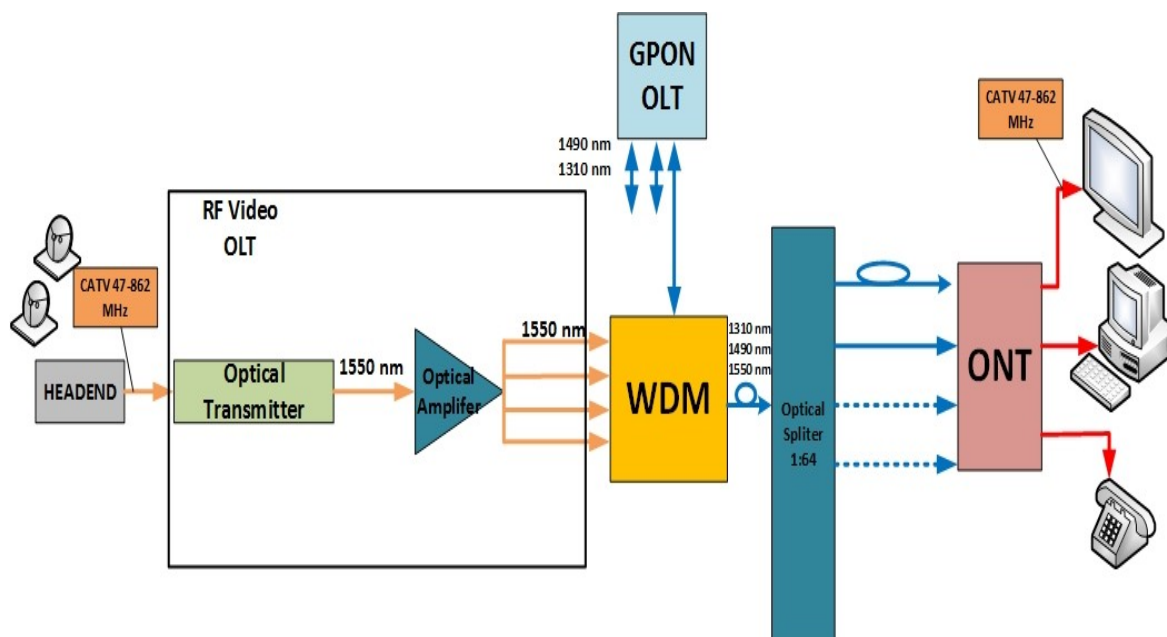
**RFoG – bez uzlu:**



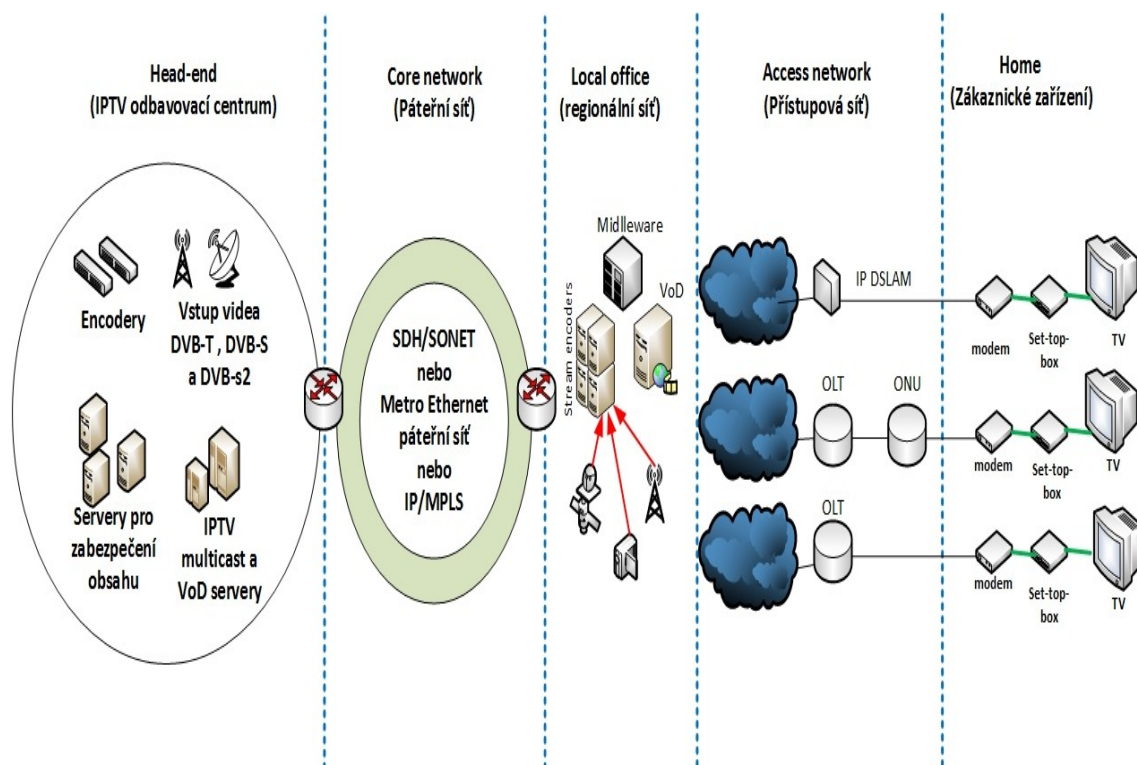
**RFoG s uzlem:**



Příloha C: *RF overlay.*

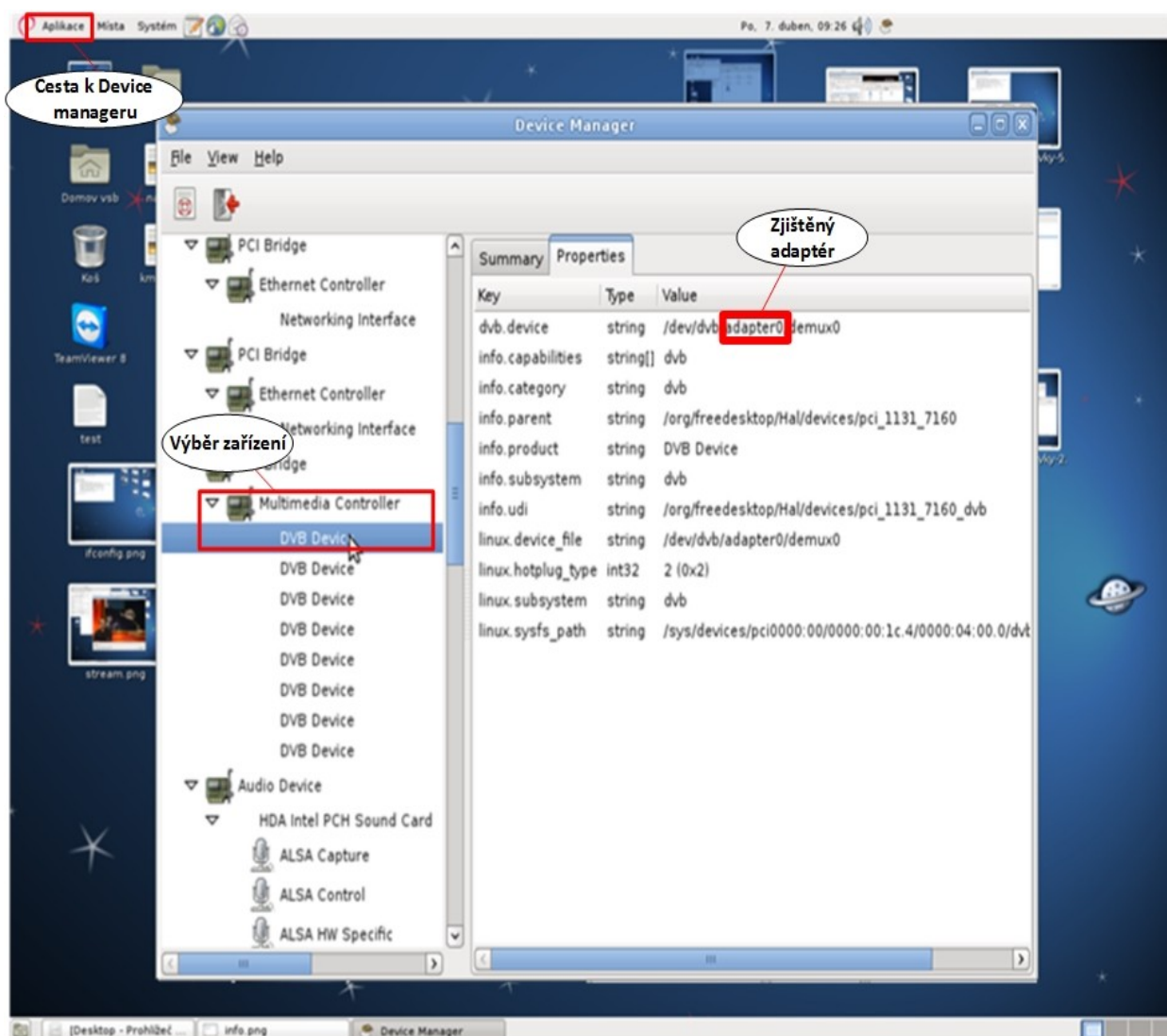


Příloha D: *Architektura IPTV.*





Příloha E: *Nastavení DVB/IP v OS Debian.*



---

Příloha F:      *Obrázky pro porovnávání kvality.*

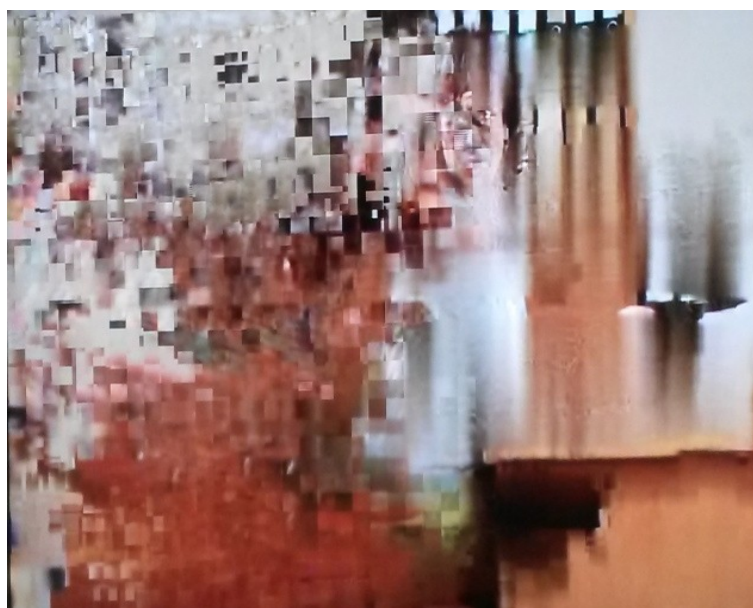
**Propustnost u DVB/IP: A)100 Mbps B) 10 Mbps C) 5 Mbps**



**A)**



**B)**



C)

Ztrátovost u DVB/IP: A) 0 % B) 2 % C) 5 %



A)



B)



C)



---

A) Chybovost u DVB/IP: A)  $10^{13}$  B)  $10^6$  C)  $10^5$



A)



B)



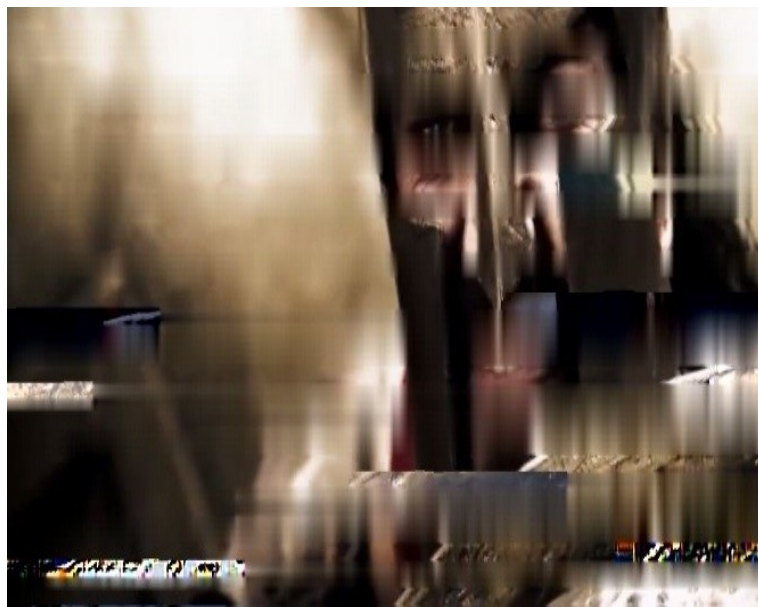
C)

**Propustnost u VLC – serveru s formátem MPEG-2:**

**A)100 Mbps B) 10 Mbps C) 5 Mbps**



A)



B)



C)

---

**Ztrátovost u VLC – serveru s formátem MPEG-2:**

**A) 0 % B) 2 % C) 5 %**



**A)**



**B)**





C)

**Chybovost u VLC – serveru s formátem MPEG-2:**

**A)  $10^{13}$  B)  $10^6$  C)  $10^5$**



A)



B)



C)

---

**Propustnost u VLC – serveru s formátem MPEG-4:**

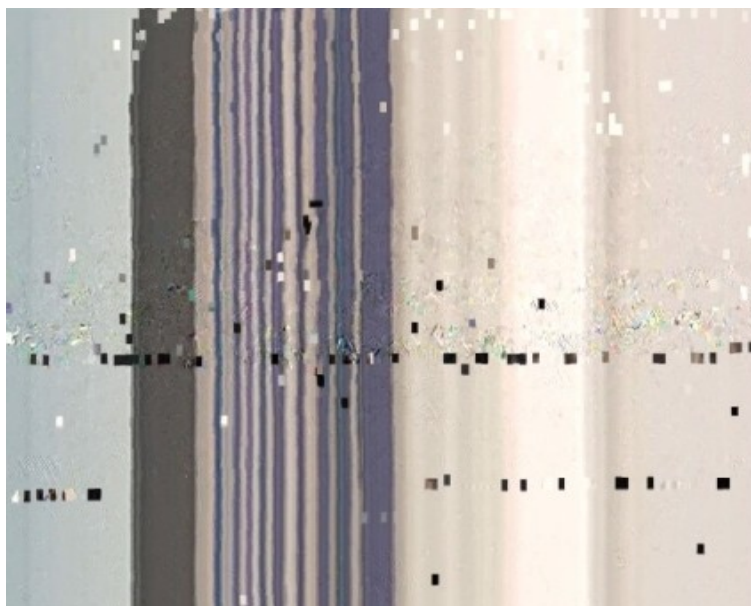
**A) 100 Mbps B) 10 Mbps C) 5 Mbps**



**A)**



**B)**



C)

**Ztrátovost u VLC – serveru s formátem MPEG-4:**

**A) 0 % B) 2 % C) 5 %**



A)



B)



C)



---

**Chybovost u VLC – serveru s formátem MPEG-4:**

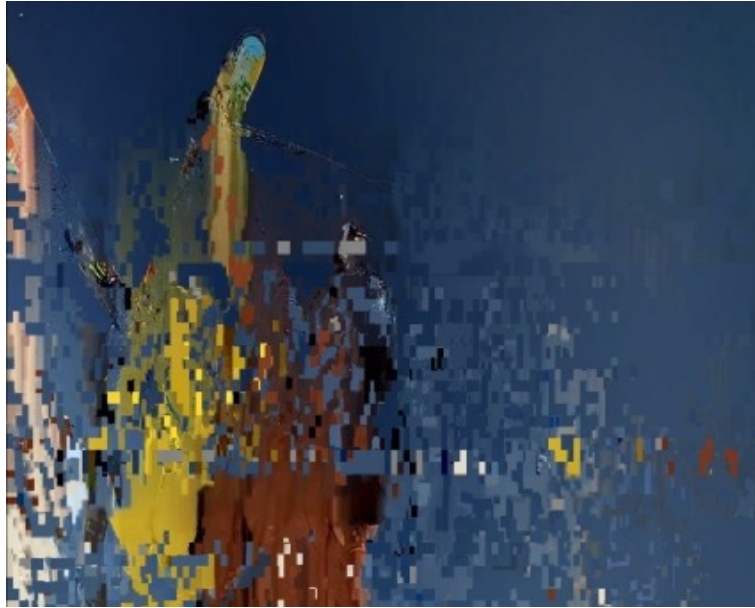
**A)  $10^{13}$  B)  $10^6$  C)  $10^5$**



**A)**



**B)**



c)